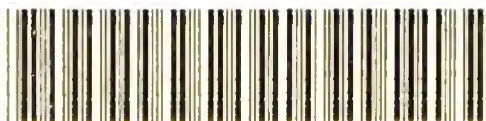
Elektrizität und Licht in der Medizin



Jena,
Gustav Fischer
1909



Elektrizität und Licht in der Medizin

Acht Vorträge

gehalten von

Prof. Dr. **Albers-Schönberg**, Hamburg; Geh. Med.-Rat Prof. Dr. **M. Bernhardt**, Berlin; Prof. Dr. **H. Boruttau**, Berlin; Prof. Dr. **G. Bredig**, Heidelberg; Prof. Dr. **E. Grunmach**, Berlin; Geh. Med.-Rat Prof. Dr. **E. Lesser**, Berlin; Prof. Dr. **Max Levy-Dorn**, Berlin; Prof. Dr. **W. Marckwald**, Berlin

herausgegeben vom

Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen,

in dessen Auftrage redigiert von

Prof. Dr. R. Kutner

Mit 38 Abbildungen im Text



JENA
Verlag von Gustav Fischer
1909

Inhaltsverzeichnis.

Im Rahmen dieses Zyklus hat Prof. Dr. Donath (als 9. Vortrag) eine umfassende Demonstration der Erscheinungen hochgespannter und -frequenter Ströme in der „Urania" veranstaltet.

Die bisherigen Methoden der Elektrotherapie und ihre praktische Anwendung.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „Elektrizität und Licht in der Medizin", veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Geh. Med.-Rat Prof. Dr. **M. Bernhardt** in Berlin.

M. H.! Gestatten Sie mir, bevor ich auf mein eigentliches Thema, die bisherigen Methoden der Elektrotherapie und ihre praktische Anwendung eingehe, einige einleitende Worte, die sich einmal auf eine freilich sehr kurze Geschichte der Elektrotherapie und einige speziell in neuester Zeit notwendig gewordene Erklärungen über die Brauchbarkeit elektrotherapeutischer Maßnahmen überhaupt beschränken sollen.

Man kann sagen, daß jedesmal, wenn die Physiker eine neue Erscheinungsweise, eine neue Art der Elektrizität resp. eine neue Methode, sie hervorzurufen, entdeckt hatten, sich die Ärzte sogleich mit anerkennenswertem Eifer daran machten, die neuen wissenschaftlichen Errungenschaften zum Nutzen ihrer Kranken zu verwerten. Deutsche, französische und schweizer Ärzte waren es, die schon gegen das Ende des 18. Jahrhunderts die damals bekannter gewordene Reibungs-Elektrisiermaschine für die Behandlung und

Heilung der verschiedensten nervösen Leiden benutzten. Seit den bahnbrechenden Entdeckungen eines Galvani und Volta trat die Benutzung der ebengenannten Reibungs-Elektrisiermaschinen in den Hintergrund und die Verwendung der galvanischen Kette oder der Voltaschen Säule trat an ihre Stelle. Es ist interessant zu verfolgen, wie namentlich deutsche Ärzte mit ihren immerhin noch unvollkommenen Vorrichtungen nicht nur Kranke mit Glück behandelten, sondern auch Beobachtungen machten, die später durchaus bestätigt werden konnten. Ich erinnere hier besonders an Grapengießer, der in seinem Werke: „Versuche, den Galvanismus zur Heilung einiger Krankheiten anzuwenden" (Berlin 1801) eine Summe von physiologisch und praktisch bedeutsamen Tatsachen mitgeteilt hat.

Trotz dieser Bemühungen aber konnte sich die Elektrizität und ihre praktische Verwertung bei den Ärzten erst durch die fundamentalen Arbeiten eines Faraday Eingang verschaffen. Mit der Entdeckung der Induktionselektrizität durch diesen genialen Forscher, mit der Konstruktion der Induktionsapparate (es handelt sich um die Zeit vom Beginn der 30er Jahre des verflossenen Jahrhunderts bis zur Mitte der 40er) kam, wenn ich so sagen darf, neues Leben in die Reihen der Ärzte. Da ist vor allen anderen Duchenne's zu gedenken, der am Ausgang der 40er Jahre seine Lehre von der „Électrisation localisée" begründete und mit unermüdlichem Fleiß, begünstigt durch das Glück, das große Material an Kranken der Pariser Krankenhäuser für seine Studien benutzen zu können, eine ganz außerordentliche Fülle neuer Tatsachen entdeckte und zum ersten Male beschrieb. In seinen Spuren wandelten deutsche Forscher, wie Erdmann, M. Meyer, v. Ziemßen, Baierlacher, Althaus, Benedikt, M. Rosenthal. Sie erlassen mir wohl die Aufzählung aller hier zu nennenden verdienstvollen Autoren, die

das Werk Duchenne's ausbauten und nach verschiedenen Richtungen hin vervollkommneten.

Bis etwa zur Mitte der 50er Jahre hin beherrschten die neuen, durch die Anwendung der Induktionselektrizität gewonnenen Resultate und Fortschritte das Denken der Ärzte, die sich des galvanischen Stromes kaum noch zu erinnern schienen. Da führte Robert Remak den lange nicht mehr benutzten galvanischen (sog. konstanten) Strom wieder als bedeutender Hilfsmittel der Elektrotherapie zu, durch sorgfältige Beobachtungen unser Wissen von der Wirksamkeit der Elektrizität in vorher kaum vermuteter Weise vermehrend.

Wenngleich manche Beobachtungen und Schlüsse dieses ausgezeichneten Forschers einer späteren strengeren Kritik nicht standhielten, so war dennoch durch ihn neben dem Induktionsstrom nunmehr auch der galvanische Strom den Ärzten zugänglich geworden. Brauche ich Ihnen alle seitdem auf diesem Gebiete tätigen Forscher und Ärzte einzeln aufzuzählen? Es genügt, wenn ich die Namen von Neumann, Eulenburg, Erb, Hitzig, Brenner, Seeligmüller, Filehne, Bärwinkel, Berger, Ernst Remak, Fieber, Pierson nenne, um Ihnen zu beweisen, wie sehr gerade dieses Arbeitsgebiet die Ärzte interessiert hat. Da ich die Geschichte der Elektrotherapie an dieser Stelle nur streifen kann, so bitte ich Sie und alle diejenigen, die es als Autoren und Forscher betrifft, zu entschuldigen, wenn ich keine vollständige Aufzählung der Männer liefere, die sich um diesen Zweig unserer Wissenschaft besondere Verdienste erworben haben.

Wie es dem galvanischen Strom erging, daß er, fast in Vergessenheit geraten, erst nach 50 Jahren gleichsam wieder seine Auferstehung feierte, so geschah es auch mit der statischen oder Spannungselektrizität, die nur von wenigen noch angewendet erst durch die Be-

mühungen eines Schwanda, Holtz, Töpler, Voß wieder ihre späte Auferstehung innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte des vergangenen Jahrhunderts feiern konnte. Clemens, Eulenburg und besonders Stein in Deutschland, Ballet und Vigouroux in Frankreich waren es, die diesen fast verschollenen Zweig der Elektrotherapie wieder zu neuem Leben erweckten. Induktionsstrom, konstanter galvanischer Strom und der durch die verbesserten Influenzmaschinen gelieferte Spannungsstrom waren es, die innerhalb der letzten Jahre von den die Elektrotherapie ausübenden Ärzten vorzugsweise benutzt wurden.

Bevor ich zur kurzen Erwähnung der der neuesten Zeit angehörigen elektrischen Behandlungsmethoden komme, habe ich noch der zwar schon etwas früher in Amerika, besonders aber in Deutschland erdachten und den Ärzten zugänglich gemachten Vorrichtungen zu gedenken, die es uns heute gestatten, die durch Dynamomaschinen erzeugten Ströme auch für elektro-therapeutische Prozeduren zu verwenden. Hier ist besonders das Verdienst unseres Kollegen Bröse hervorzuheben, der 1890 unter Mithilfe der bekannten Firma Hirschmann in der von mir geleiteten Poliklinik für Nervenkranke zum ersten Male in Deutschland zeigte, wie selbst diese starken Ströme von großer Voltspannung sehr wohl für die Zwecke des Arztes dienstbar gemacht werden können. Ich werde später auf diese Methode der Nutzbarmachung der Dynamoelektrizität für die verschiedensten Zwecke des Arztes zurückzukommen haben; erwähnt sei hier nur, wie ich selbst in Versuchen, die sich durch Jahre hinzogen, beweisen und erhärten konnte, daß sich die Benutzung derartiger, an große städtische Leitungen angeschlossener Apparate als durchaus ungefährlich und in jeder Hinsicht allen ärztlichen Anforderungen genügend erwiesen haben. Da ich alsbald von den ebenfalls innerhalb der letzten Jahre, speziell von Frankreich her

empfohlenen sinusoidalen Wechselströmen etwas ausführlicher zu reden haben werde, so unterlasse ich es, an dieser Stelle darauf einzugehen. Und da in dieser Vortragsreihe Kollege Boruttau über die Verwendung hochgespannter Ströme mit hoher Wechselzahl und über Magnetelektrotherapie (Ströme nach d'Arsonval und Tesla und Elektromagnetismus durch die Apparate von Müller und Trüb) sprechen wird, so enthalte ich mich natürlich heute darauf einzugehen und erwähne es nur der Vollständigkeit wegen.

Wie die Wissenschaft rastlos fortschreitet, so folgen wir Ärzte ihren Entdeckungen, um jede Möglichkeit zu benutzen, unseren Kranken zu nützen; daß dies geschehen kann, freilich oft den hohen Erwartungen gegenüber nicht mit dem Erfolg, den wir alle wünschen, immer jedoch mit Vorteil für unsere Patienten, das möchte ich Ihnen noch mit wenigen Worten klar zu machen versuchen. Von keinem, der sich mit dem Studium der Erkrankungen des Nervensystems befaßt, wird die hohe Bedeutung und die Förderung, welche die Elektrodiagnostik unserem Wissen von den in Rede stehenden Krankheiten gebracht hat und noch immer weiter bringt, verkannt werden. Es ist hier nicht meine Aufgabe, über Elektrodiagnostik zu reden; wie aber die Fortschritte in dem Ausbau der Lehre von der Elektrodiagnostik unsere Kenntnisse von der Anatomie und Physiologie des Nervensystems gefördert haben, so haben sie auch befruchtend auf die Elektrotherapie eingewirkt. Man erkannte allmählich, daß eine Reihe von Nervenkrankheiten in dem von uns gewünschten Sinne überhaupt nicht heilbar ist Man sah weiter, daß gewisse Nervenleiden ohne ärztliches Eingreifen zur Heilung kommen können; man erkannte endlich, daß die verschiedenartigsten nervösen Beschwerden ohne jede Medikation, speziell auch ohne elektrotherapeutische Maß-

nahmen zum Verschwinden gebracht wurden und zwar allein durch psychische Beeinflussung.

Diese Erkenntnisse waren denjenigen Ärzten, die die Elektrotherapie in ernster und wissenschaftlicher Weise auszuüben bestrebt waren, durchaus nicht unbekannt. Eine Kritik der anfänglich vorhanden gewesenen übertriebenen Hoffnungen und gegenüber der Bekanntgebung von Heilresultaten hatte schon lange vor dem Frankfurter Elektrotherapeutenkongreß eingesetzt. Keine elektrotherapeutische Prozedur kann untergegangene Nervensubstanz wiederherstellen; ja es ist selbst bis heute noch nicht entschieden, inwieweit eine elektrotherapeutische Behandlung bei schwereren Läsionen peripherischer Nerven von Nutzen in bezug auf die Abkürzung der Krankheitsdauer ist.

Nicht aber nur auf rein psychischem Wege sehen wir Heilwirkungen durch die Elektrotherapie bedingt, nicht nur suggestiv werden Erfolge erzielt, sondern wir können, ohne uns Illusionen zu machen, auch bei den tatsächlich nicht reparablen Schädigungen des Nervensystems, speziell bei vielen Hirn- und Rückenmarksleiden, eine große Anzahl von beunruhigenden Symptomen, von sonst nicht zu lindernden Beschwerden durch unser elektrotherapeutisches Eingreifen, mindern resp. beseitigen.

Ich spreche zu Ärzten und frage Sie, warum gerade auf die Bestrebungen, mittels elektrischer Behandlung unseren Kranken zu helfen, mit solcher Ironie herabgesehen wird, während Sie sich doch sagen müssen, daß bei sonst unheilbaren Krankheiten auch die anderen sogenannten physikalischen Heilverfahren wie Bäder, Massage usw. kaum anderes leisten, als daß sie die Beschwerden des Patienten lindern und geringer machen. Warum nur auf die Elektrotherapie einen Stein werfen, nur ihre Bestrebungen allein zum Zielpunkt des Spottes machen?

Ebensowenig wie die Elektrizität können die anderen Methoden der Behandlung unheilbare Krankheiten zu heilbaren machen resp. sie beseitigen. Wenden wir nicht alle, die wir Ärzte sind, Wachsuggestion an, um unsere Patienten mit neuen Hoffnungen zu beleben? Haben wir denn mit den anderen physikalischen Methoden oder mit unserer sogenannten inneren Medikation so ungeheuer viel mehr Glück? Lohnt es sich nicht, einen chronisch Kranken, der über Jahr und Tag behandelt werden muß, durch die Abwechslung der Behandlungsmethoden stets mit neuem Mut und Vertrauen zu erfüllen? Sage ich Ihnen etwas Neues, wenn ich behaupte, daß man einen Kranken nicht jahraus jahrein baden oder massieren oder Übungen machen lassen kann, und daß man in der Wahl der Mittel wechseln muß? Nun haben wir aber in den elektrotherapeutischen Prozeduren ein Mittel, mit dem wir, wenn es richtig angewendet wird, unseren Kranken sehr viel nützen und niemals schaden können. Freilich ist hierzu zunächst eine Kenntnis der Grundzüge der Elektrodiagnostik und der Elektrotherapie nötig, freilich haben Sie, bevor Sie mit der elektrischen Behandlung beginnen, den Kranken aufs genaueste zu untersuchen und wenn irgend möglich, eine exakte Diagnose zu stellen. Niemals dürfen Sie, so selbstverständlich es klingen mag, dem Kranken schaden, und um dies zu vermeiden, müssen Sie gerade bei der Anwendung der Elektrizität darauf halten, die Applikationen selbst zu machen und dieselben nicht, wie ich mich schon an anderer Stelle ausgedrückt habe, ungebildetem und mehr noch eingebildetem Wartepersonal überlassen.

Aus dem, was ich bisher gesagt, geht also hervor, daß, wenngleich Wunderkuren durch die Elektrotherapie so wenig wie durch andere Maßnahmen, mögen sie einen Namen haben, welchen sie wollen, bewirkt werden, diese doch in der Hand des kundigen Arztes, allein oder kombiniert mit anderen medikamentösen oder physikalischen

Heilmethoden zu einem unschätzbaren Mittel werden kann, um eine Summe von sonst nicht zu beseitigenden Beschwerden zu lindern oder zu heilen.

Zum Schluß habe ich noch eine Frage zu beantworten, die wenn auch in diesem Moment nicht ausgesprochen, doch wohl in Ihrem Sinne liegt, nämlich: wann hat man mit einer elektrischen Behandlung zu beginnen, wann hat man aufzuhören?

Es ist zwar selbstverständlich, daß sich diese Frage nicht allgemein zur Zufriedenheit beantworten läßt, auch ist es jetzt nicht meine Aufgabe, auf diese Frage, deren Beantwortung sich nach den speziellen Fällen richtet, hier einzugehen. Im allgemeinen kann man sagen, daß wenn Sie es nicht gerade mit sehr schwachen oder hoch fiebernden oder in bezug auf das Nervensystem durch ein frisches Trauma schwerer verletzten Kranken zu tun haben, Sie die Behandlung zu jeder Zeit beginnen können. Ich möchte nach dieser Richtung hin nur die frischen Apoplexien ausnehmen und Sie veranlassen, gerade bei derartigen Kranken mit dem galvanischen Strom lieber einige Wochen zu warten, eine Mahnung, die nach meiner Erfahrung speziell für frische Hirnblutungen gilt.

Ich möchte Sie weiter darauf aufmerksam machen, daß viele Menschen, auch wenn sie sich ganz gesund fühlen, vor den Einwirkungen der Elektrizität eine große Abneigung, um nicht zu sagen Furcht empfinden. Ich habe gerade bei Kollegen dies oft zu beobachten Gelegenheit gehabt. Darum werden Sie gut tun, bei Ihren Kranken stets mit ganz schwachen Strömen zu beginnen; Sie werden deren individuelle Empfindlichkeit prüfen und erst allmählich zu stärkeren Strömen übergehen. Wie lange eine elektrotherapeutische Prozedur in jedem einzelnen Falle fortgesetzt werden, wie oft an einem Tage, wie oft in der Woche elektrotherapeutisch eingewirkt

werden soll, das alles sind Fragen, die einer speziellen Beantwortung bedürfen und die hier zu erörtern viel zu weit führen würde. Schon vorher habe ich gesagt, daß man zwar einige Wochen, eventuell sogar Monate hindurch elektrotherapeutisch behandeln darf, daß aber die Behandlung auch auf Wochen und Monate ausgesetzt und durch andere Behandlungsmethoden abgelöst werden muß. Dies gilt speziell für chronisch Kranke, die die Hilfe des Arztes Jahre hindurch in Anspruch nehmen.

Wollen Sie den galvanischen Strom anwenden, so bedürfen Sie natürlich zunächst einer Stromquelle sei es in Gestalt einer stationären oder einer transportablen Batterie. Sie sehen hier verschiedene Arten von Stromquellen, wie sie von unseren besten Firmen geliefert werden; eine nähere Beschreibung gehört kaum hierher, abgesehen davon, daß Sie eine solche in den Lehrbüchern der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie und den betreffenden Katalogen der verschiedenen Firmen finden. Daß Leitungsschnüre, Elektroden und Elektrodenhalter nötig sind, um den Strom von der Batterie auf den Patienten hinüberzuleiten, ist selbstverständlich. Die Elektroden müssen von sehr verschiedener Größe sein; die kleinen und kleinsten kommen mehr für elektrodiagnostische als für therapeutische Zwecke in Betracht. Während man früher die Stromstärke nach der Zahl der in Anspruch genommenen Elemente berechnete, weiß man heute, daß zur genauen Dosierung der Stromstärke ein gutes Galvanometer durchaus notwendig ist. Ich rufe Ihnen kurz ins Gedächtnis zurück, daß nach dem die gesamte Elektrizitätslehre beherrschenden Gesetz von Ohm die Stromstärke direkt der elektromotorischen Kraft (der Spannung) und umgekehrt den dem Fließen des Stromes sich entgegenstellenden Widerständen proportional ist. $J = \frac{E}{W}$.

Nicht also nur nach der Zahl der benutzten Elemente ist die Stromstärke zu dosieren, sondern es muß jedesmal auf die der Fortleitung des Stromes sich entgegenstellenden Widerstände Rücksicht genommen werden. Dies geschieht durch die Durchführung des Stromes durch ein Galvanometer, welches heute von den meisten Fabrikanten in Gestalt des Deprez-d'Arsonval-Galvanometer den betreffenden Batterien beigegeben wird. E., die Einheit der elektromotorischen Kraft (1 Volt) ist der von einem guten Daniel'schen Element gelieferte Strom; die Einheit des Widerstandes ist der Ohm, d. h. derjenige Widerstand, der geliefert wird, wenn man den Strom durch eine Quecksilbersäule von 106 cm Länge und 1 qmm Querschnitt hindurch gehen läßt. Die Einheit der Stromstärke (J) nennt man einen Ampère. Diese Einheit ist für unsere ärztlichen Zwecke viel zu groß, da es sich bei der perkutanen Galvanisation am Menschen um sehr viel größere Widerstände als 1 Ohm handelt. Die Haut, speziell die Epidermis, setzt dem Strom einen bei weitem größeren Widerstand entgegen und man benutzt deshalb als Einheit für ärztliche Zwecke den Milliampère d. h. einen Strom von der elektromotorischen Kraft von 1 Volt, der durch einen Widerstand von 1000 Ohm hindurchzugehen hat. Die heute gebräuchlichen sogenannten absoluten Galvanometer sind so konstruiert, daß wir die Stromstärke in Milliampère direkt ablesen können.

Abgesehen von den Widerständen richtet sich nun aber die Stromstärke auch nach der zur Anwendung gezogenen Voltstärke; man kann diese am einfachsten durch allmähliche Einschaltung von immer mehr stromgebenden Elementen vermehren. Nun ist aber diese Art der Stromstärkensteigerung für manche Prozeduren am Gehirn, an den Sinnesorganen eine zu starke resp. zu brüske; man half sich da durch die in die Hände des Arztes gegebene Möglichkeit, beliebige Widerstände einzuschalten und so die Stromstärke ganz

allmählich anwachsen oder abschwellen zu lassen. Diese Widerstände oder Rheostate (Flüssigkeits-, Kohlen-, Metallrheostate) können nun entweder in die Hauptleitung eingeschaltet oder in Nebenschluß gebracht werden. Es ist klar, daß die Einschaltung in die Hauptleitung die Stromstärke je nach der Anzahl der eingeschalteten Ohms vermindert. Bringt man den Rheostaten in Nebenschluß an, so wächst im Hauptstrom, der durch den Menschen geleitet wird, die Stromstärke dann an, wenn man ganz allmählich die Widerstände des in Nebenschluß befindlichen Rheostaten vermehrt. Benutzen Sie aber, m. H., den Rheostaten in Nebenschluß, so muß natürlich das Galvanometer in denjenigen Anteil des Stromkreises eingeschaltet werden, der Ihren Patienten durchfließt. Ich muß fast um Entschuldigung bitten, daß ich diese Sachen hier vorbringe; ich erachtete es aber doch für notwendig, namentlich auch deshalb, weil ich nicht eindringlich genug darauf hinweisen kann, daß kein Arzt, wenn er sich überhaupt mit der Verwendung des galvanischen Stromes befaßt, ohne diese durchaus notwendigen Apparate eine elektrotherapeutische Behandlung unternehmen soll.

Wollte ich auf alle hier sich aufdrängenden Fragen eingehen und die Handhabung einer derartigen galvanischen Behandlung bis ins einzelne beschreiben, so würde ich die mir gebotene Zeit weit überschreiten und auch dann noch Ihrem Wissensdrang kaum Genüge tun. Bevor ich aber auf einen anderen Abschnitt meines Vortrags eingehe, habe ich Ihnen ins Gedächtnis zurückzurufen, daß abgesehen von der Stromstärke, noch auf einen anderen sehr wichtigen Punkt Rücksicht zu nehmen ist, nämlich auf die Stromesdichte. Diese richtet sich einmal nach der Stromstärke und zweitens nach dem Querschnitt der Strombahn, d. h nach dem Querschnitt zunächst der von Ihnen benutzten

Elektroden. Die bekannte Formel lautet $D = \frac{J}{Q}$. Sie ist der Stromstärke direkt, dem Querschnitt der Strombahn umgekehrt proportional.

Es gab und gibt noch heute Ärzte, die die Benutzung sehr geringer Stromdichten empfehlen; so will z. B. ein sehr erfahrener Therapeut Müller-Wiesbaden mit einer Stromstärke von einem halben Milliampère und einem Elektrodenquerschnitt von 10 qcm die besten Erfolge erzielt haben. Andere (Sperling z. B.) geben noch geringere Stromdichten als die zweckmäßigsten an. Wenn ich auch selbst bei der Behandlung von Affektionen des Hirns oder der Sinnesorgane zu großer Vorsicht rate und geringe Stromstärken und Stromdichten anwende, so gilt dies doch nicht für die Behandlung von Läsionen peripherischer Nerven; hier kann man meiner Ansicht nach ebenso wie bei der Elektrotherapie mancher Rückenmarksaffektionen eine erheblich größere Stromdichte bis etwa zu $^1/_2$ und mehr anwenden, d. h. wenn man sich größerer Elektroden z. B. von 20 qcm Querschnitt bedient bis zu Stromstärken von 10 Milliampère und darüber gehen. Wie in jedem speziellen Falle zu verfahren ist, das, m. H., ist heute auseinanderzusetzen nicht meine Aufgabe, kann übrigens auch nur durch die Praxis erlernt werden.

Schon oben habe ich von denjenigen Apparaten gesprochen, welche innerhalb der letzten 16 Jahre durch den Anschluß an die für Beleuchtungszwecke errichteten Zentralen (zur Erzeugung dynamoelektischer Ströme) zur bequemen Benutzung für ärztliche Zwecke von den größeren Firmen, die sich mit der Herstellung elektrischer Apparate beschäftigen, hergestellt werden. Hier in Berlin tritt der Strom von 110 Volt und wenn wir die Verluste in Betracht ziehen, die er durch den Widerstand der Leitungen von eben diesen Zentralen bis in unsere Häuser hinein erfährt, von

etwa 100 Volt in unsere Apparate. Diese Voltspannung ist für unsere ärztliche Zwecke zu groß; daher werden vom Mechaniker drei Rheostate in den Stromkreis eingeschaltet, von 1000, 2000 und 10000 Ohm Widerstand, so daß die Stromstärke je nach der (wie Sie hier sehen) angebrachten und vom Arzt benutzten Stöpselung entweder 100 oder 50 oder 10 Milliampère beträgt $\left(\frac{100 \text{ Volt}}{1000 \text{ Ohm}} = 100 \text{ Milliampère z. B.}\right)$.

Diese Stromstärken ergeben sich dann, wenn der Strom ohne Einschaltung irgend eines anderen Widerstandes kurz geschlossen ist. Nun besitzen die Apparate aber noch einen oder zwei Rheostate mit verschiedenen Kontakten, welche in Nebenschluß liegend gestatten, diese eben genannten Stromstärken von 10, 50, oder 100 M.A. (Milliampère) noch weiter und zwar auf das Allerfeinste abzustufen. Ich kann Ihnen, wenn es die Lokalität Ihrer Tätigkeit gestattet, d. h. wenn an dem Ort Ihrer Praxis sich eine Zentrale befindet, nur empfehlen, Ihre Apparate anschließen zu lassen. Eine mehr als 16jährige Erfahrung hat mich belehrt, daß diese Vorrichtungen durchaus gut und sicher funktionieren und daß Sie mit einem Schlage alle die Unannehmlichkeiten los sind, die wir früher bei dem notwendigen Gebrauch flüssiger Elemente, wenn ich so sagen darf, durch die Unreinlichkeit und die Notwendigkeit, die Elemente häufig reinigen resp. erneuern zu lassen, empfunden haben. Da in diesen Apparaten zugleich Vorrichtungen getroffen sind, einen Strom von etwa $^1/_3$ Ampère Stärke durch eine primäre Spirale gehen zu lassen, die von einer sekundären, wie beim D u b o i s'schen Schlitteninduktorium umgeben ist, so haben Sie auch die Möglichkeit, durch eine Kurbeldrehung je nach Belieben den galvanischen (konstanten) oder den Induktionsstrom benutzen zu können. Daß diese Apparate auch mit der für manche Zwecke wichtigen Vorrichtung den

Strom zu wenden (Stromwender) versehen sind, ist selbstverständlich.

Ich habe Ihnen, m. H., an dem heutigen Abend noch von so vielen Anwendungsweisen der Elektrizität zu sprechen, daß ich es mir leider versagen muß, obgleich es theoretisch von der größten Wichtigkeit ist, auf die Frage einzugehen, worin denn nun eigentlich die Wirkungen des galvanischen Stromes beruhen. Sind es, wie einige wollen, die rein physiologischen Wirkungen des Stromes, sind es, wie andere behaupten, die elektrochemischen, welche uns zu einem Verständnis des eigentlichen Wesens der Elektrotherapie führen werden? Das zu entscheiden reichen vorläufig unsere Kenntnisse noch nicht aus. Immerhin ist es wahrscheinlich, daß auch die physiologischen Wirkungen des Stromes auf die Nerven- und Muskelsubstanz von feinsten chemischen, durch den Strom bedingten Einwirkungen abhängig zu machen sind, Dinge, welche erst die zukünftige Forschung zum endgültigen Austrag bringen wird.

Wenn man selbst heute noch annehmen darf, daß der galvanische Strom sich immer noch nicht in den Händen aller Praktiker befindet, so ist das mit dem faradischen, dem sog. Induktionsstrom wohl kaum der Fall. Jeder von Ihnen besitzt sicher einen derartige Ströme liefernden Apparat. Ich enthalte mich einer näheren Beschreibung der Induktionsapparate; nur das kann ich den Praktikern unter Ihnen immer wieder empfehlen, sich Apparate und Zubehör nur von anerkannten Firmen besorgen und herstellen zu lassen, damit Sie nicht wegen geringer Ersparnis durch Ärger und spätere größere Kosten beim Gebrauch der zu billig erworbenen geschädigt werden. Sie alle wissen, daß der von irgend einem Element gelieferte Strom die primäre Spirale durchfließt und durch die selbsttätige Vorrichtung des Wagnerschen Hammers geöffnet und geschlossen wird.

Durch dieses Entstehen und Vergehen des primären Stromes werden ja eben die Ströme in der zweiten, sekundären Spirale erzeugt. Diese Ströme aber, welche in der sekundären Spirale einmal beim Schluß des primären Stromes entstehen und sodann wieder bei der Öffnung desselben, sind in Ihrer Wirkung ungleich. Der sog. Schließungsinduktionsstrom der sekundären Spirale ist physiologisch von bei weitem schwächerer Wirkung, als der sog. Öffnungsinduktionsstrom der sekundären Spirale. Es hat dies seinen Grund in der Selbstinduktion, die beim Schließen des Stromes in dieser primären Spirale selbst durch das Ent-

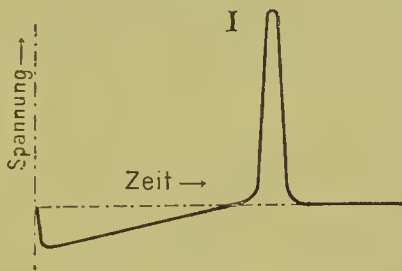


Fig. 1. Induktionsstrom.

stehen des Extrakurrentstromes statthat. Dieser verzögert die induzierende Wirkung, was bei der Öffnung des primären Stromes fortfällt. Es ist hier kaum der Ort, diese Dinge noch eingehender zu besprechen; ich verweise auch hier wieder auf die vielen Lehrbücher über Elektrizität und Elektrotherapie, in denen Sie Aufklärung über diese Ihnen vielleicht im Laufe der Jahre aus dem Gedächtnis gekommenen Dinge finden. Genug, daß diese, wie man sie nennt, voltaelektrischen Ströme einen ungleichen Stromverlauf haben, wie Sie in der hier aufgezeichneten Kurve sehen können (Fig. 1).

Früher fast allein gebraucht, sind die durch Stahlmagnete induzierten Ströme nunmehr fast ganz durch das Schlitteninduktorium verdrängt

worden. Ich zeige Ihnen hier diesen alten von Stöhrer konstruierten Apparat, den ich nicht besser zu schildern vermag, als es von J. Rosenthal in der dritten Auflage der Elektrizitätslehre für Mediziner (Hirschwald, Berlin 1884) geschehen ist, deren zweiter Teil die Elektrotherapie behandelt. Diese so erzeugten magnetelektrischen Ströme kann man, je nachdem ein Kommutator angebracht ist oder nicht, als Wechselströme oder als gleichgerichtete Ströme in Anwendung ziehen. Derartige Ströme nun, welche seit 16 Jahren etwa, speziell durch d'Arsonvals Bemühen in die Elektrotherapie eingeführt sind, liefern gleichmäßig fließende, gewissermaßen sanft abgerundete Ströme im Gegensatz zu den jäh ansteigenden und jäh abfallenden Strömen des Voltainduktionsapparates. Es sind, wie Sie aus der Zeichnung ersehen (Fig. 2) sog.

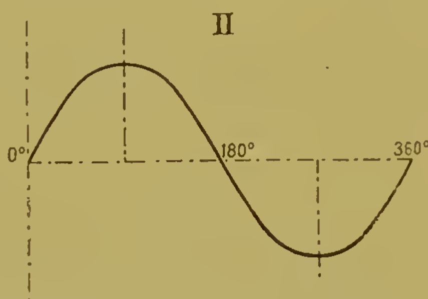


Fig. 2. Sinusoidaler Wechselstrom.

Sinusoidale Ströme, da der Stromverlauf einer Sinuskurve entspricht. Derartige sinusoidale Ströme kann man überall dort leicht erhalten, wo der elektrische Strom von Wechselstromzentralen geliefert wird. Sie sehen hier derartige Vorrichtungen, wie sie von den Firmen Reiniger, Gebbert und Schall und von Hirschmann geliefert werden. Spannung und Zahl der Wechsel werden durch besondere Vorrichtungen reguliert. Wo die Zentralen keinen Wechselstrom, sondern Gleichstrom liefern, wird letzterer durch einen sog. Gleichstrom-Wechselstromtransformer in einen Wechselstrom

umgewandelt. Dieser, durch besondere Vorrichtungen in einen Wechselstrom umgeformte Gleichstrom oder der ursprüngliche Wechselstrom kann nun wieder durch eine besondere Vorrichtung in einen Gleichstrom kommutiert werden und wird dann als undulierender Strom bezeichnet (courant ondulatoire). Hier hat im Gegensatz zu dem Wechselstrom die Sinuskurve immer die gleiche Richtung (vgl. Fig. 3); dieser Strom kann

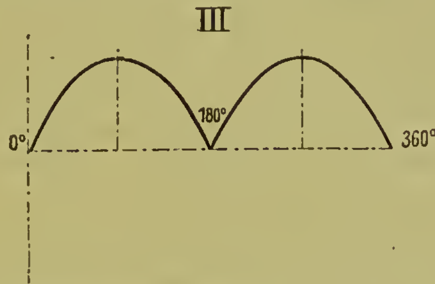


Fig. 3. Sinusoidaler Gleichstrom (Courant ondulatoire).

als sinusoidaler Voltastrom bezeichnet werden, während der seine Richtung wechselnde Sinusstrom sinusoidaler faradischer genannt wird.

Auch auf diese Dinge weiter einzugehen ist hier nicht der Ort; ich muß Sie schon in bezug hierauf wieder auf die neueren Lehrbücher der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie verweisen und darf vielleicht auch meine kleine Arbeit „Über magnetelektrische und sinusoidale Ströme" vom elektrodiagnostischen Standpunkt aus erwähnen, in welcher diese Dinge ausführlich besprochen sind (Neurol. Zentralbl. 1904 Nr. 15 u. 16).

Die von den Zentralen gelieferten Ströme sind zu stark, als daß sie unmittelbar auf den menschlichen Organismus hingeleitet werden könnten; sie müssen erst durch geeignete Vorrichtungen zu einer geringeren Spannung (in umgekehrter Weise wie beim gewöhnlichen Induktionsstrom) transformiert werden. Die Zeichnungen eines solchen Apparates für sinusoidale Gleich- und

Wechselströme finden Sie gleichfalls in den neueren Lehrbüchern der Elektrotherapie und in den Katalogen der in Betracht kommenden Spezialfirmen.

Derartige Ströme können also, wie Sie sehen, will man sich nicht der veralteten und nur mit Unbequemlichkeit zu handhabenden Rotationsapparate bedienen, nur dann erhalten werden, wenn die nötige elektromotorische Kraft von einer Zentralstelle her geliefert wird. Neuerdings nun hat Herr Kollege Boruttau einen Apparat konstruiert, der streng sinusoidalen Wechselstrom liefert und transportabel ist, indem er auf den permanenten Stahlmagneten (der alten Sinusinduktoren) zurückgriff. Hinsichtlich der näheren Beschreibung dieses neuen Apparates verweise ich auf die Originalarbeit des ebengenannten Autors (Zeitschrift für Elektrotherapie usw. Novemberheft Nr. 11 1906). Die erste derartige von der Firma L. u. H. Löwenstein-Berlin gelieferte Vorrichtung besteht nach der Beschreibung Boruttau's in Elementen, Motor mit Stahlmagnet, Wechselstromschleifringen und Kommutator auf der Achse, Induktionsspulen nebst Schlittenverschiebung, den nötigen Umschaltern, sowie Zubehör an Elektroden und Leitungsschnüren, alles untergebracht in einem leicht transportablen Kasten.

M. H.! Sie alle haben den faradischen oder Induktionsstrom gewiß unzählige Male zur Reizung von Muskeln und Nerven verwandt, indem Sie sich dabei feuchter Elektroden bedienten; Sie haben mit trocknen Elektroden oder dem faradischen Pinsel (zu oberflächlichen Reizungen der Haut) bei Gefühlsabstumpfungen die Haut Ihrer Kranken gereizt, Sie haben schadlos Hautrötungen als Ableitungen durch eben diesen Reiz erzeugt und vor allen Dingen schwache, abgemagerte und gelähmte Glieder durch Erregung der Nerven und Muskeln gekräftigt und gestärkt. Auch hier wieder

muß ich ganz besonders betonen, daß es an diesem Abend nicht meine Aufgabe ist, Ihnen von der therapeutischen Wirksamkeit der faradischen Ströme im speziellen zu berichten, sondern vielmehr von den bisher in der Elektrotherapie gebräuchlichen Methoden.

Wohl aber habe ich Sie aufmerksam zu machen auf die Benutzung sowohl des galvanischen wie neuerdings besonders des faradischen und sinusoidalen Stromes für die sogenannten elektrischen Bäder. Beard und Rockwell waren es, die die sogenannte allgemeine Elektrisation in die Therapie einführten und durch sie namentlich neurasthenische Zustände mit Erfolg zu behandeln lehrten. Soweit es durch äußerliche Applikation möglich ist, soll jeder Körperteil unter den Einfluß des elektrischen Stromes gebracht werden. Ein Pol kommt an die Füße (mit angefeuchtetem Flanell überzogene Metallplatte), mit dem anderen Pole werden alle Körperteile berührt, wobei man sich, was Kopf, Gesicht, Sinnesorgane betrifft, der eigenen Hand als Elektrode bedient. Man kann zu dieser etwas umständlichen Behandlungsart sowohl den faradischen wie den galvanischen Strom benutzen.

Viel bequemer für eine derartige allgemeine Elektrisation ist die Benutzung der elektrischen Bäder, die in Gestalt von monopolaren oder dipolaren Bädern verabreicht werden können. Bei letzteren sitzt der Kranke in einer Holz- oder lackierten Metallwanne; beide Elektroden eines galvanischen oder Induktionsstromes tauchen in Gestalt größerer Metallplatten in die Badeflüssigkeit ein, ohne daß die Versuchsperson direkt mit ihnen in Berührung kommt, da man den Kranken durch Vorsetzen durchbrochener Holzscheiben hiervor schützen kann. Bei dem monopolaren Bade taucht nur eine große Elektrode in das Badewasser, die andere ist mit einer außerhalb des Wassers befindlichen Vorrichtung, die mit feuchten Tüchern umwickelt ist und die der Kranke

anzufassen hat, verbunden. Es ist bei dieser Anwendungsart des elektrischen (monopolaren) Bades zu berücksichtigen, daß die Stromdichte an der von dem Patienten außerhalb des Wassers ergriffenen Handhabe sehr groß werden und zu schmerzhaften Empfindungen Veranlassung geben kann.

Sie wissen alle, m. H., daß gerade in den letzten Jahren statt der gewöhnlichen galvanischen oder faradischen Bäder sich der Gebrauch der sinusoidalen Bäder große Geltung verschafft hat. Die bemerkenswerten Erfolge, welche einige Kollegen bei der Benutzung gerade dieser Form der Bäder erzielt haben, sind zwar noch nicht durchweg anerkannt; immerhin haben durchaus zuverlässige Autoren mit ihnen bei schwer neurasthenischen Zuständen und besonders bei Herzerweiterung und Herzschwäche sehr beachtenswerte Erfolge erzielt. Da die soeben von mir erwähnten Boruttau'schen Apparate in den Handel, soviel ich weiß, noch nicht übergegangen und in bezug auf ihre Brauchbarkeit zur Herstellung sinusoidaler Bäder geprüft sind, so haben wir vorläufig noch zu warten, ehe wir über sie ein endgültiges Urteil abgeben. Bewähren sie sich, so ist damit dem praktischen Arzt eine brauchbare und wenig kostspielige Methode in die Hand gegeben, unabhängig von einer Zentrale derartige Bäder zu verordnen und abzugeben.

Abgesehen von den allgemeinen Bädern haben wir schon lange für verschiedene sensible und vasomotorische Neurosen von lokalen elektrischen Bädern Gebrauch gemacht. Man kann eine Reihe derartiger Leiden mit lokal an Hand oder Fuß applizierten Bädern behandeln, wie dies von einigen Autoren (ich erwähne hier nur Weisflog) schon vor 30 Jahren geschehen ist.

Um bei dem dipolaren Bade den menschlichen Körper von dem elektrischen Strom in größerer Dichte und Menge durchströmen zu lassen, als

es in einer gewöhnlichen Badewanne möglich ist, hat, wie Ihnen bekannt, Gärtner in Wien die Einrichtung seines Zweizellenbades angegeben. Hier wird die Badewanne durch ein in einem Holzrahmen in der Mitte mit einer Öffnung versehenes Diaphragma von Gummi geteilt. Durch das Loch steckt der Badende seine Füße und gelangt so mit dem unteren Teil seines Körpers in den einen Teil der Badewanne, während die andere Hälfte in dem anderen, von dem ersten vollkommen abgeschlossenen Abteil der Wanne bleibt. Da der Kranke nunmehr durch seinen eigenen Körper das Loch im Gummidiaphragma vollständig verschließt, geht der Strom tatsächlich durch denselben hindurch.

Während ich Ihnen hier leider nur das Diaphragma des Gärtner'schen Bades vorweisen kann, bin ich in der Lage, Ihnen das neuerdings vielgenannte Vierzellenbad nach Dr. Schnée zu zeigen. Dieses Bad besteht aus vier Porzellanwannen, in welche der Kranke seine beiden oberen Extremitäten und jedes Bein besonders in eine kleinere Badewanne stellen kann. Es sind da die verschiedensten Kombinationen, was den Stromlauf durch den Körper des Patienten betrifft, möglich; man kann faradische, galvanische, sinusoidale Ströme usw. benutzen. Vor dem gewöhnlichen elektrischen Bade hat das Schnéesche Vierzellenbad den Vorzug, daß der Kranke sich nicht gänzlich zu entkleiden braucht, andererseits den Nachteil eines vorläufig noch ziemlich hohen Preises.

Dem soll durch den von H. Winternitz konstruierten Apparat abgeholfen werden. Die Wannen des Schnée'schen Bades sind durch vier große Plattenelektroden ersetzt, die mit einer dicken, gut durchfeuchteten Flanellage bedeckt sind und als Hand- und Fußelektroden dienen. Winternitz empfiehlt die Behandlung nervöser Schlaflosigkeit und traumatischer Neurosen durch seinen Apparat; nach ihm steht

die hierdurch erzielte Allgemeinelektrisation in ihren Erfolgen hinter denen des Vierzellenbades nicht zurück.

Noch mehr vereinfacht wurde die Methode durch die Drahtgazeelektroden von Galle und die Elektrodenhüllen von Boruttau. Galle läßt seine Elektroden aus Messingdrahtgaze herstellen, die über nassen Umschlägen bequem an beliebigen Körperstellen und in beliebiger Verteilung angebracht werden können. Die Boruttauschen Elektroden für die Extremitäten in Gestalt von Handschuhen und Strümpfen, deren innerste Schicht porös und angefeuchtet ist, sehen Sie hier. Eigene Versuche mit diesen neuen Elektroden habe ich selbst bisher noch nicht angestellt, da wenigstens die Boruttau'schen in größerer Anzahl noch nicht in den Handel gelangt sind.

Ehe ich mich nun zu dem letzten Gegenstand meiner heutigen Besprechung wende, will ich nicht versäumen, Sie noch auf die schon vor Jahren von de Watteville eingeführte Galvanofaradisation aufmerksam zu machen. Galvanischer und faradischer Strom sind miteinander verbunden, indem der galvanische Strom durch die Spule des Induktionsapparates und durch den Patienten gehen und der induzierte Strom den Kranken und die einzelnen Elemente des galvanischen Apparates passieren muß; so durchfließen beide Stromesarten gleichzeitig den Körper des Kranken. Steht Ihnen kein Apparat mit dem Stromkombinator oder Stromwechsler zu Gebote, sondern haben Sie nur einen galvanischen und einen Induktionsapparat (beide getrennt), so können Sie sich gleichwohl den kombinierten galvanofaradischen Strom auf die Weise herstellen, daß sie einen Pol des galvanischen Stromes mit einem Ihres faradischen durch einen Leitungsdraht verbinden und die beiden dem Patienten zuzuführenden Leitungsschnüre mit dem einen Pol des galvanischen und einem des faradischen Apparates verbinden.

Ich komme nun zum letzten Objekt meiner heutigen kurzen Besprechung, nämlich der Methode mittels Influenzmaschinen sog. Spannungsströme zu erzeugen und Kranke damit zu behandeln. Als zu diesem Zwecke in Gebrauch befindliche Influenzmaschinen sind die Whimhurst'sche und die von Töpler-Holtz zu nennen. Ich kann hier die Konstruktion dieser Apparate und das Wesen der durch sie erzeugten Ströme nicht auseinandersetzen, sondern muß sofort auf ihren Gebrauch in der Praxis eingehen.

Steht der Patient durch eine Gummiplatte, auf der sich eine Metallplatte befindet, isoliert und verbindet man letztere mit dem positiven Pol der Influenzmaschine (der andere Pol ist zur Erde abgeleitet), so geben Sie damit Ihrem Kranken das elektrostatische Luftbad. Zur Anwendung kommt es bei verschiedenen Arten sog. funktioneller Neurosen. Wird zweitens der Patient wie vorher mit positiver Elektrizität geladen und über ihm eine sog. Kopfglocke, die nach verschiedenen Richtungen hin verstellbar ist, angebracht, so haben Sie die Kopfdusche, die sich bei verschiedenen Arten von Kopfschmerz bewährt hat. Befestigen Sie an diesem Konduktor eine Elektrode mit einer oder mehreren Spitzen und halten Sie selbst die Elektrode an einem Hartgummigriff, so empfindet der Kranke einen kühlen Hauch (Spitzenausstrahlung), der sich bei verschiedenen Neuralgien, auch bei Herzaffektionen, bei nervösem Ohrensausen (Benedikt) heilsam erwiesen hat.

Bringen Sie die beiden inneren Konduktoren weit auseinander, so daß keine Funken mehr überspringen und lassen Sie auf den isoliert stehenden Menschen Funken von Ihrem Konduktor überspringen, so können Sie damit ebensowohl einen erheblichen Hautreiz ausüben, als auch Muskelzuckungen hervorrufen.

Sie sehen ferner hier zwei Franklin'sche

Tafeln. Verbinden Sie den einen Leitungsdraht mit der isolierten Platte, auf der der Patient steht, die andere mit dem von Ihnen in die Hand genommenen Konduktor und setzen diesen direkt auf die Haut des Kranken auf, so erregen Sie sehr kräftige Muskelzuckungen. Es ist das im Gegensatz zu der soeben beschriebenen Methode, bei der die Funken übersprangen, die sog. dunkle Entladung. Man hat hierbei die inneren Konduktoren nicht wie bei Anwendung der Funkenentladung soweit als möglich voneinander zu entfernen, sondern im Gegenteil erst vollkommen einander zu nähern und ganz allmählich voneinander zu entfernen, da durch diese dunkle Entladung selbst bei geringem Abstand der inneren Konduktoren heftige Erschütterungen des ganzen Körpers ausgelöst werden können.

Der Praktiker wird vorläufig noch dieses letztbeschriebenen Instrumentariums, der Influenzmaschine, entbehren können. Haben Sie einen guten Induktionsapparat, eine leistungsfähige galvanische Batterie und namentlich gute Nebenapparate (Galvanometer, Rheostat) und selbstverständlich Elektroden verschiedener Größe, so können Sie sowohl elektrodiagnostisch und namentlich elektrotherapeutisch alles leisten, was man billigerweise verlangen kann.

M. H.! Ich bin am Ende meiner heutigen Auseinandersetzungen. Keiner mehr als ich selbst fühlt die ganze Unvollkommenheit derselben. Wenn Sie aber bedenken, daß ich im Rahmen von einer bis $1^1/_2$ Stunde Ihnen „die bisherigen Methoden der Elektrotherapie und ihre praktische Anwendung" schildern sollte, so werden Sie einsehen, daß ich das Thema nicht erschöpfen konnte. Da ich über Elektrotherapie zu reden hatte und die Elektrodiagnostik kaum streifen konnte, so habe ich Ihnen auch nicht von der neuesten Untersuchungsmethode der Nerven- und Muskelerregbarkeit durch Konden-

satoren reden können, noch weniger von der Anwendung dieser Kondensatoren in der Therapie. Über die Verwendung hochgespannter Ströme und des Elektromagnetismus werden Sie von Herrn Kollegen Boruttau in kurzer Zeit das Wissenswerte hören.

Es muß mir genügen, wenn ich Sie angeregt habe, die Frage von der Würdigkeit der Elektrizität als eines physikalischen Heilmittels selbst zu prüfen. Was Ihnen etwa bei meinem Vortrag betreffs der Konstruktion einzelner Apparate nicht klar geworden, werden Sie leicht in den Lehrbüchern der Physik und Elektrotherapie nachlesen können. Daß ich mich auf die spezielle Elektrotherapie der Krankheiten des Nervensystems oder anderer Leiden bei der Kürze der mir zugemessenen Zeit nicht einlassen konnte, werden Sie begreifen und verzeihen. Ich muß mich mit dem Bewußtsein begnügen, nach meinen schwachen Kräften das mir zugewiesene Thema in der kurzen Spanne Zeit tunlichst nach allen Richtungen wenigstens gestreift zu haben.

Radioaktive Stoffe, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Bedeutung für die Heilkunde.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „Elektrizität und Licht in der Medizin", veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Prof. Dr. **W. Marckwald** in Berlin.

M. H.! Die Apparate, welche zur Erzeugung von Röntgenstrahlen dienen, sind Ihnen wohl bekannt. In der evakuierten Glasbirne gehen bei genügender Spannung von der Kathode die sog. Kathodenstrahlen aus, welche beim Anprallen an die gegenüberliegende Glaswand diese zu einer auffälligen Phosphoreszenz anregen. Außerhalb der Birne treten dann die Röntgenstrahlen auf. Als diese entdeckt wurden, lag es nahe, zwischen der Phosphoreszenz des Glases und der neuen Strahlung einen ursächlichen Zusammenhang zu vermuten. Daher prüften die Physiker die Frage, ob vielleicht allgemein phosphoreszierende Stoffe die Eigenschaft zeigten, Röntgenstrahlen auszusenden. Das bestätigte sich nicht, führte aber zu der höchst bedeutungsvollen Entdeckung der radioaktiven Stoffe.

H. Becquerel untersuchte im Jahre 1896 die durch schöne Fluoreszenz ausgezeichneten

Uransalze in der angedeuteten Richtung. Er fand, daß diese Salze durch lichtdichtes Papier hindurch auf die photographische Platte so wirkten, als ob sie Röntgenstrahlen aussendeten. Die weitere Untersuchung zeigte aber, daß diese Wirkung auch eintrat, wenn die fluoreszierenden Salze durch beliebige andere Uranverbindungen, denen jegliches Phosphoreszenzvermögen abgeht, ersetzt wurden. Da ferner die stärkste Wirkung vom Uranmetall ausging und die Uranverbindungen sich proportional ihrem Urangehalt wirksam erwiesen, so kam Becquerel zu dem Schluß, daß das Strahlungsvermögen eine Eigenschaft des Uranatomes sein müsse.

Als die übrigen bekannten Grundstoffe auf ihre Fähigkeit, in ähnlicher Weise „Becquerelstrahlen" auszusenden, geprüft wurden, zeigte sich, daß nur noch ein Element die Eigenschaft des Urans teile, nämlich das Thorium, dessen Oxyd bekanntlich den Hauptbestandteil des Glühkörpers der Auerlampe bildet. Seine Wirksamkeit ist nicht erheblich von der des Urans verschieden.

Als das Ehepaar Curie im Becquerel'schen Laboratorium uranhaltige Erze auf ihr Strahlungsvermögen prüfte, zeigten sich einige von diesen sehr beträchtlich stärker „radioaktiv" als das Uran selbst. So übertraf die Joachimsthaler Pechblende, welche das wichtigste Ausgangsmaterial für die Urangewinnung darstellt, das Metall um das Dreifache an Aktivität. Daraus zog nun das Ehepaar Curie den Schluß, daß in diesen Mineralien noch irgend ein Stoff enthalten sein müsse, welcher viel stärker radioaktiv als das Uran sei. Sie unterwarfen die Pechblende einer gründlichen, chemisch-analytischen Untersuchung und prüften die einzelnen abgeschiedenen Bestandteile auf ihr Strahlungsvermögen. Zunächst fanden sie, daß das aus der Pechblende gewonnene Wismut, das kaum 0,3 Proz. des Minerals ausmacht, etwa 100 mal so stark radioaktiv war,

als das Uran. Da gewöhnliches Wismut nicht aktiv ist, so mußte dem Wismut der Pechblende ein noch unbekanntes, stark radioaktives Element beigemischt sein, dessen Abtrennung mit zunächst sehr geringem Erfolge versucht wurde. Die Entdecker gaben diesem hypothetischen Grundstoff den Namen: Polonium.

Die weitere Analyse der Pechblende führte zur Entdeckung eines zweiten, stark radioaktiven Stoffes. Die Curie's fanden in dem Mineral in noch geringerer Menge als Wismut Baryum auf, welches an Aktivität dem ersteren gleichkam. Durch fraktionierte Kristallisation dieses Baryumchlorides konnte Frau Curie die aktive Substanz, welche in allen chemischen Eigenschaften dem Baryum außerordentlich ähnelt, von letzterem scheiden. Sie erhielt so ein Salz, das sich nicht nur durch sein Strahlungsvermögen, sondern auch durch andere physikalische Eigenschaften, besonders durch sein Spektrum, von Baryum scharf unterscheidet. Durch die Analyse des Chlorids wurde das Atomgewicht des neuen Elementes, das den Namen „Radium" erhielt, zu 225 festgestellt.

Das reine Radiumchlorid ist mehrere millionenmal stärker radioaktiv als das Uran. Aus 1000 kg Pechblende gewinnt man höchstens 0,4 g des Salzes. Daraus und aus der mühevollen Abscheidung erklärt sich der hohe Preis des Stoffes, der jetzt etwa 100 Mk. pro Milligramm beträgt.

Später wurden in der Pechblende noch andere radioaktive Stoffe aufgefunden, von denen hier nur das durch Debierne entdeckte, durch Giefel eingehender untersuchte Aktinium genannt sei. Es steht den Edelerden, besonders dem Lauthan chemisch nahe und ist bisher von diesem noch nicht getrennt.

Bevor wir uns nun näher mit den Eigenschaften der radioaktiven Stoffe beschäftigen, müssen wir uns mit dem Wesen der „Becquerelstrahlung" näher vertraut machen. Ich habe bereits die Kathodenstrahlen erwähnt, welche in

der Crookes'schen Röhre auftreten und die Quelle der Kathodenstrahlen bilden. Sie werden jetzt allgemein nicht als Ätherwellen, wie die Wärme-, Licht- und elektrischen Strahlen angesehen, sondern als von der Kathode geradlinig abgeschleuderte Stoffteilchen, sog. Elektronen, die sich mit etwa $^1/_{10}$ Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Diese Teilchen, deren Größe noch nicht den 1000 Teil eines Wasserstoffatomes beträgt, sind negativ elektrisch geladen, wie sich aus ihrer magnetischen Ablenkbarkeit ergibt. Treffen die Kathodenstrahlen auf ein Hindernis, so werden sie in der Regel völlig gehemmt. Nur äußerst dünne Aluminiumblättchen vermögen sie zu durchdringen. Beim Aufprallen auf eine undurchdringliche Wand wird die Energie zum Teil in Wärme und Licht, zum Teil aber in Röntgenstrahlen umgewandelt, welche wohl Lichtstrahlen von äußerst geringer Wellenlänge darstellen.

Die von Uran und Radium ausgesandten „Becquerelstrahlen", so sehr sie anfänglich den Röntgenstrahlen zu gleichen schienen, stehen diesen gleichwohl fern. Die genannten Stoffe senden vielmehr dreierlei Gattungen von Strahlen aus, welche als α-, β- und γ-Strahlen unterschieden werden. Die β-Strahlen sind nichts anderes als Kathodenstrahlen von größerer Geschwindigkeit und deshalb auch größerem Durchdringungsvermögen als die früher bekannten. Denn sie werden im gleichen Sinne durch den Magneten abgelenkt. Die γ-Strahlen sind nicht magnetisch ablenkbar, höchst durchdringend — sie vermögen noch durch mehrere Zentimeter dicke Bleiplatten hindurchzugehen — und stellen wohl äußerst harte Röntgenstrahlen dar als eine Begleiterscheinung der β-Strahlung. Sie machen nur einen geringfügigen Bruchteil der gesamten Strahlung aus. Der größte Teil der ausgestrahlten Energie aber tritt in Form von α-Strahlen auf. Diese sehr leicht absorbierbaren, vom Magneten ent-

gegengesetzt den Kathodenstrahlen und in sehr geringem Grade ablenkbaren Strahlen gleichen den Kanalstrahlen, die in der Crookes'schen Röhre den Kathodenstrahlen entgegengesetzt gerichtet auftreten. Sie besitzen eine mehrfach geringere Geschwindigkeit als die β-Strahlen und werden als positiv geladene Massenteilchen aufgefaßt, deren Größe etwa das Doppelte eines Wasserstoffatomes beträgt.

Nicht alle radioaktiven Stoffe senden alle drei Strahlengattungen aus. Das Polonium liefert z. B. α-Strahlen. Da diese Strahlen ein sehr geringes Durchdringungsvermögen besitzen, so wirkt das Polonium zwar durch feinste Aluminiumfolie, nicht aber durch Schreibpapier hindurch auf die photographische Platte ein. Dagegen kann man mit Hilfe des Radiums, wie mittels Röntgenstrahlen, durch Holz und andere dicke Schichten hindurch photographieren. Weil aber die β-Strahlen unter sich sehr verschiedene Geschwindigkeit besitzen, sich also auch im Durchdringungsvermögen stark unterscheiden, so werden die Photogramme nicht scharf, wie Röntgenaufnahmen, sondern Stoffe von verschiedener Dichte treten nur bei sehr großen Differenzen deutlich hervor.

Wir haben bisher nur eine Wirkung der „Becquerelstrahlen“ kennen gelernt, die photochemische. Weit wichtiger für den Nachweis und das Studium der radioaktiven Stoffe ist die Eigenschaft ihrer Strahlen, die diese übrigens mit den Röntgen-, Kathoden- und den ultravioletten Lichtstrahlen teilen, Gase z. B. die Luft, welche bekanntlich Nichtleiter der Elektrizität sind, zu Leitern zu machen. Alle die genannten Strahlen bewirken, wenn sie von Gasen absorbiert werden, daß sich von den Gasmolekeln negative Elektronen loslösen, diese selbst also positive Ladung annehmen. Diesen Vorgang nennt man die Ionisation der Gase. Hört die Wirkung der Strahlen auf, so vereinigen sich die Ionen sehr bald, immerhin aber erst nach

Verlauf meßbarer Zeiten, wieder zu neutralen Molekülen. Nähert man daher einen radioaktiven Stoff einem geladenen Elektroskop, so wird dieses, weil die umgebende Luft leitend wird, entladen. Die Geschwindigkeit dieser Entladung kann man messend verfolgen und hat so ein Maß für die ausgesandte Strahlung. Vermittels feiner Elektrometer ist man imstande die Gegenwart von radioaktiven Stoffen in Verdünnungen nachzuweisen, die noch weit über die Empfindlichkeit spektralanalytischer Beobachtungen hinausgehen. Diese ionisierende Wirkung geht selbstverständlich hauptsächlich von den α-Strahlen aus. Denn nur diese werden von Gasen genügend absorbiert, um den größten Teil ihrer Energie für die Ionisation herzugeben. Daß indessen auch die durchdringenderen β-Strahlen des Radiums noch beträchtlich wirksam sind, zeigt das Zusammengehen der Blättchen des Elektroskopes bei der Annäherung einiger in eine Bleikapsel eingeschlossener Radiumbromidkriställchen.

Von anderen Wirkungen der „Becquerelstrahlen" sei besonders diejenige auf phosphoreszierende Stoffe, d. h. auf solche Stoffe, die auch durch Licht- oder Röntgenstrahlen zur Phosphoreszenz angeregt werden, hervorgehoben. Baryumplatincyanür, das Salz, welches den wirksamen Bestandteil der bekannten Schirme für Röntgenuntersuchungen bildet, phosphoresziert auch in den Strahlen des Radiums prächtig. Ähnlich verhalten sich viele andere Salze und Mineralien. Einige Radiumsalze, z. B. das wasserfreie Chlorid, senden selbst ein intensives Phosphoreszenzlicht aus.

Wie man fast jede Energieform mehr oder weniger leicht in eine beliebige andere Form umzuwandeln vermag, so ist dies natürlich auch der Fall bei der Energieform, wie sie uns in den Becquerelstrahlen dargeboten wird. Da ist es nun von besonderer Wichtigkeit, daß man die vom Radium ausgesandte Energie in Wärme umwandeln und vermittels des Kalorimeters messen

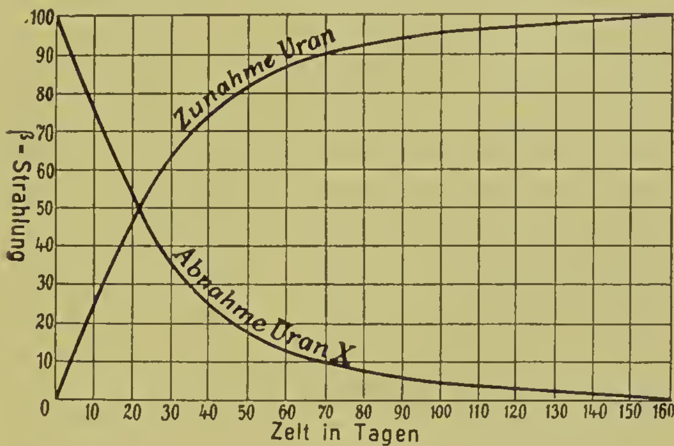
konnte. Bringt man einige Dezigramm Radiumchlorid in eine Bleikapsel, welche fast die gesamte Strahlung absorbiert, so zeigt diese Kapsel beständig eine um mehrere Grad höhere Temperatur als die Umgebung. 1 g Radium entwickelt so in der Stunde 100 kleine Kalorien, würde also imstande sein in dieser Zeit 100 g Wasser um 1 ^{0} zu erwärmen.

Daß die Becquerelstrahlung auch in chemische Energie umgewandelt werden kann, folgt schon aus ihrer Wirkung auf die photographische Platte. Aber auch sehr viel kräftigere, chemische Wirkungen werden durch diese Strahlen hervorgerufen. Sauerstoff wird ozonisiert. Glas färbt sich je nach seiner Zusammensetzung violett oder dunkelbraun, organische Substanzen werden tiefgreifend verändert. Diese letztere Tatsache soll im Hinblick auf ihre physiologische Bedeutung später noch ausführlicher erörtert werden.

Seit der Entdeckung der Radioaktivität hat die Frage nach dem Ursprung der in der Becquerelstrahlung scheinbar unerschöpflich auftretenden Energie das höchste Interesse in Anspruch genommen. Schien doch anfänglich dieses Phänomen mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie kaum vereinbar. Schon frühzeitig hat der canadische Physiker E. Rutherford durch eine sehr scharfsinnige Hypothese die Radioaktivität mit dem Grundgesetz der Physik in Einklang zu setzen gesucht. Diese Hypothese hat sich im weiteren Verlauf der experimentellen Erforschung dieses Gegenstandes so glänzend bewährt, daß man heute von ihr als der allgemein anerkannten Theorie der Radioaktivität sprechen kann.

Rutherford's Hypothese ging von einer Beobachtung aus, die er zuerst an den schwach radioaktiven Elementen, Thor und Uran, gemacht hat. Aus diesen Stoffen lassen sich durch geeignete chemische Reaktionen Oxyde oder Salze gewinnen, welche denjenigen der Ausgangsstoffe in bezug auf ihr Strahlungsvermögen nicht mehr völlig

gleichen. Löst man z. B. kristallwasserhaltiges Urannitrat in Äthyläther auf, so erhält man eine wässerige Schicht, die sehr wenig Uransalz gelöst enthält. Verdampft man diese Lösung, so hinterbleibt eine äußerst geringe Menge einer Substanz, welche keine α-Strahlen, aber sehr stark β-Strahlen aussendet. Die aus der ätherischen Lösung zurückgewonnene Hauptmenge des Salzes hingegen sendet nur α-Strahlen aber keine β-Strahlen aus. Demnach ist vom Uran ein Bestandteil abgesondert worden, welcher der Träger der β-Strahlung ist. Rutherford nennt ihn Uran X. Im Verlaufe



von einigen Monaten verschwindet nun die Strahlung des Uran völlig, in demselben Tempo aber nimmt das davon befreite Uran wieder β-Strahlung an. Die vorstehenden Kurven (s. Abbildung) geben ein Bild des zeitlichen Verlaufs. Man kann dem genügend abgelagerten Uran immer wieder auf dem angegebenen oder auch einigen anderen Wegen Uran X entziehen und so den Vorgang sich beliebig oft wiederholen lassen. Aus der Abklingungskurve des Uran X ergibt sich, daß die Abnahme in geometrischer Progression verläuft. In 22 Tagen sinkt die Wirkung auf die Hälfte,

in der doppelten Zeit auf ein Viertel, in 66 Tagen auf ein Achtel usw.

Diese Beobachtungen hat nun Rutherford durch die Hypothese gedeutet, daß das Uran X ein in schneller Umwandlung begriffener Stoff sei. Er entsteht aus dem Uran, zerfällt aber sehr schnell weiter. Deswegen kann immer nur ein unwägbar kleiner Teil des Urans aus Uran X bestehen. Aus theoretischen Gründen muß ein solcher Zerfall in geometrischer Progression fortschreiten.

Ganz ähnliche, nur noch kompliziertere Verhältnisse hat Rutherford am Thorium aufgedeckt. Es gelang ihm hier ein Thorium X abzuscheiden, dessen Strahlungsvermögen schon in 4 Tagen auf die Hälfte sinkt, ferner aber gelang es auch, das Zerfallsprodukt des Thorium X zu fassen. Dieses sendet nämlich, indem es zerfällt, ein chemisch indifferentes Gas, die sog. Emanation aus, welche gleichfalls radioaktiv ist. Die Aktivität dieser Thoriumemanation sinkt schon in 50 Sekunden auf die Hälfte, sie ist also in sehr schnellem Zerfall begriffen. Leitet man durch eine Thoriumsalzlösung Luft, so führt diese beständig von dieser Emanation mit sich fort. Die Wände der Gefäße, die der Gasstrom passiert, belegen sich bald mit einer natürlich wegen ihrer geringen Menge unsichtbaren, aber durch ihr Ionisationsvermögen nachweisbaren radioaktiven Substanz, welche wiederum das Umwandlungsprodukt der Emanation darstellt. Sie wird als Thorium A bezeichnet und hat eine viel längere Lebensdauer als die Emanation, denn ihre Aktivität sinkt erst in 10 Stunden auf die Hälfte. Daß es sich hier wirklich um einen Stoff und nicht etwa, wie man anfänglich annahm, um „induzierte“ Aktivität handelt, ist dadurch bewiesen, daß man den Stoff durch chemische Agenzien, z. B. Salzsäure, von den Gefäßwänden ablösen kann. Sammelt man die Säure in einem Schälchen und verdampft sie, so befindet sich nunmehr der unsichtbare,

radioaktive Stoff in diesem Schälchen. Auch dieser Stoff geht im Zerfall noch in einen anderen aktiven Stoff, Thorium B, über, dessen weiteres Umwandlungsprodukt bisher nicht bekannt ist.

Alle diese Verhältnisse lassen sich durch die Hypothese deuten: *Radioaktive Stoffe sind in Umwandlung begriffene Stoffe.* Damit ist auch die Quelle für die von diesen Stoffen ausgesandte Energie gegeben. *Bei der Umwandlung eines radioaktiven Elementes entsteht ein solches, dessen Moleküle einen geringeren Energieinhalt besitzen.*

Hiernach haben wir anzunehmen, daß auch Uran und Thorium in einem beständigen Zerfall begriffen sind. Nur ist ihre Lebensdauer sehr groß. In grober Schätzung würde etwa in einer Milliarde Jahren die Hälfte ihrer Atome umgewandelt werden. Von ganz anderer Größenordnung muß die Lebensdauer des Radiums angenommen werden. In roher Annäherung läßt sich aus hier nicht näher zu erörternden Gründen schätzen, daß die Hälfte in 2600 Jahren zerfallen ist.

Auch das Radium liefert als erstes Umwandlungsprodukt eine Emanation, die in 4 Tagen auf die Hälfte abklingt. Diese Emanation entweicht aber nur aus Lösungen der Radiumsalze oder beim Erhitzen der trockenen Substanz. Andernfalls bleiben die geringen Gasmengen, die unter Bildung fester Produkte weiter zerfallen, sich also nicht zu beträchtlicher Menge ansammeln können, in dem festen Salze okkludiert. Die Wirkung der Emanation macht den größten Teil des Strahlungsvermögens der trocknen Radiumsalze aus. Denn wenn man solches Salz in Wasser löst und dann wieder eintrocknet, so zeigt es nur noch etwa ein Viertel der früheren Strahlung. Erst nach mehreren Wochen hat es durch Nachbildung der Emanation seine frühere Aktivität wieder erlangt.

Wenn man sich nun die Frage vorlegt, wo-

her das Radium in den Uranmineralien stammt, deren Alter doch weit über die Lebensdauer des Radiums hinausgeht, so liegt die Hypothese nahe, daß das Uran selbst die Stammsubstanz des Radiums ist. Diese Hypothese, die eines zuverlässigen, experimentellen Nachweises noch entbehrt, wird dadurch bestätigt, daß sich Radium in allen Uranmineralien, und zwar innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler in einem konstanten Verhältnis zum Urangehalt findet. Dieses Verhältnis beträgt etwa 1 : 1 000 000. Wie wir vorher sahen, wandelt sich Uran in Uran X um. Dessen weiteres Zerfallsprodukt ist bisher nicht bekannt. Daß aus ihm nicht direkt Radium entsteht, ist experimentell festgestellt. Man nimmt daher an, daß zunächst noch ein oder mehrere Zwischenprodukte existieren, aus denen sich dann das Radium bildet.

Sehr gründlich sind die weiteren Umwandlungsprodukte der Radiumemanation studiert worden. Man hat deren sechs sicher aufgefunden und durch ihre Halbierungskonstanten charakterisiert. Sie werden als Radium A, B, C, D, E, F bezeichnet. Von ihnen sendet das Radium A, ebenso wie Radium selbst und seine Emanation nur α-Strahlen aus. Radium C gibt α-, β- und γ-Strahlung. Wenn also Radiumsalze β- und γ-Strahlen aussenden, so rührt dies lediglich von dem durch Abbau gebildeten Radium C her. Radium B und D bieten insofern ein besonderes Interesse, als sie strahlenlos sind. Ihre Existenz kann nur indirekt nachgewiesen werden, doch kann hier auf diesen Nachweis nicht näher eingegangen werden. Radium E liefert nur β-Strahlen, Radium F nur α-Strahlen. Letzteres ist, wie sich aus der Halbierungskonstante ergibt, mit dem Polonium identisch. Es ist nämlich in den letzten Jahren gelungen, auf chemischem Wege das Polonium vom Wismut und anderen Beimengungen zu trennen. Freilich lieferten 50 000 kg Pechblende nur 3 Milligramm von diesem Stoff, welcher

sicherlich noch nicht einmal frei von Verunreinigungen war. Er zerfällt in 140 Tagen zur Hälfte. In welchen Stoff er übergeht ist noch nicht festgestellt, sicher aber ist dieser Stoff inaktiv. Die Vermutung spricht dafür, daß er sich in Blei umwandelt. Denn alle Uranerze sind bleihaltig. Schon dieser Umstand weist darauf hin, einen genetischen Zusammenhang zwischen Uran und Blei anzunehmen. Dazu kommt aber noch ein zweiter, gewichtiger Grund.

Wir haben vorher gesehen, daß die α-Strahlen positiv geladene Teilchen von etwa der doppelten Größe des Wasserstoffatomes sind. Nun gibt es kein bekanntes Element, dessen Atomgewicht gleich 2 wäre. Dasjenige Element, dessen Atomgewicht den Wasserstoff am nächsten steht, ist das Helium, dessen Atom viermal so schwer als das Wasserstoffatom ist. Wenn man nun annimmt, daß die α-Strahlen aus Heliumatomen bestehen, was allerdings noch Hilfshypothesen bedingt, so würde bei der Umwandlung eines Elementes unter α-Strahlung ein neues Element von einem um vier Einheiten kleineren Atomgewicht entstehen müssen. Nun ist das Atomgewicht des Radiums gleich 225 gefunden worden. Wie man aus dem nebenstehenden Stammbaum ersieht, findet bis zur letzten, radioaktiven Umwandlung fünfmal die Aussendung von α-Strahlen statt. Wenn diese jedesmal mit einer Verminderung der Atomgröße um 4 Einheiten verknüpft wäre, so sollte das letzte Abbauprodukt des Radiums das Atomgewicht 205 haben; dies trifft angenähert für Blei mit dem Atomgewicht 207 zu. Das Polonium hätte dann das Atomgewicht 211, was mit der Stellung, die dieses Element nach seinen chemischen Eigenschaften im periodischen System der Elemente einnehmen sollte, im besten Einklang stünde.

Daß Helium aus radioaktiven Stoffen entsteht, ist von Ramsay experimentell bewiesen worden. Wenn man die aus einer größeren Menge Radium

entstehende Emanation in einem evakuierten Glasröhrchen ansammelt, so zeigt beim Durch-

Stammbaum des Poloniums.

Uran (1 000 000 000 Jahre)
↘ α-Strahlen
Uran X (22 Tage)
↘ β-Strahlen
?
Radium (2600 Jahre)
↘ α-Strahlen
Emanation (4 Tage)
↘ α-Strahlen
Radium A (3 Minuten)
↘ α-Strahlen
Radium B (27 Minuten)

Radium C (20 Minuten)
↘ α-, β-, γ-Strahlen
Radium D (40 Jahre)

Radium E (6 Tage)
↘ β-Strahlen
Polonium (140 Tage)
↘ α-Strahlen
Blei (?)

gang des elektrischen Stromes dieses Gas zunächst ein unbekanntes, wohl der Emanation selbst

eigenes Spektrum. Nach einigen Tagen aber treten an dessen Stelle die Heliumlinien deutlich auf. Schon länger ist die Tatsache bekannt, daß alle Uranerze Helium in kleinen Mengen enthalten.

Unter den Übergangsformen des Radiums finden sich, wie schon erwähnt, auch zwei nichtstrahlende. Mit diesen findet sich die Rutherford'sche Theorie durch die Annahme ab, daß hier die Strahlung durch die uns bekannten Mittel nicht nachweisbar ist. Rutherford hat gezeigt, daß wenn die α-Strahlen nur mit sehr wenig verminderter Geschwindigkeit abgeschleudert würden, die Ionisation der Luft nicht mehr durch sie bewirkt werden könnte. Wir würden sie dann also ebensowenig bemerken, als vor der Entdeckung Röntgen's, die aus der längst bekannten Crookes'schen Röhre austretenden Strahlen bemerkt worden sind.

Die Existenz nichtstrahlender, aber gleichwohl in Umwandlung begriffener Elemente hat eine weittragende Bedeutung für die theoretischen Anschauungen über das Wesen der Elemente überhaupt gewonnen. Wenn die Lebensdauer der radioaktiven Elemente in einigen Fällen nach Minuten, in anderen nach Jahrmillionen zählt, so wird der Gedanke nahegelegt, ob nicht auch die übrigen Elemente sich in einer Entwicklung befinden, welche noch langsamer vor sich geht als diejenige des Urans und ohne nachweisbare Strahlung verläuft. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß das Baryum dem Radium in jeder Beziehung mehr ähnelt, als irgend einem anderen bekannten Element, so wird uns in der Tat die Vorstellung wenig plausibel erscheinen, daß diese beiden Stoffe sich in bezug auf die Radioaktivität prinzipiell und nicht nur graduell unterscheiden sollen. Wir kennen viele Elemente, die, wie Uran und Radium, in der Natur regelmäßig vergesellschaftet vorkommen. Dahin gehört Silber und Blei, Nickel und Kobalt, Niob und Tantal

u. a. m. Liegt es nicht nahe, auch zwischen solchen Elementen einen genetischen Zusammenhang zu vermuten?

Die radioaktiven Elemente haben uns gelehrt, daß den Atomen eine ungeheuere Energie innewohnt, von deren Existenz wir früher nichts ahnten. Wir sahen, daß ein Gramm Radium in der Stunde 100 Kalorien entwickelt, und daß in 2600 Jahren die Hälfte umgewandelt wird. Daraus läßt sich berechnen, daß die gesamte in einem Gramm Radium verfügbare Energie derjenigen noch weit überlegen ist, die 1000 kg Kohle bei der Verbrennung zu liefern vermögen. Daß zwei einander so ähnliche Stoffe, wie Radium und Baryum, sich in ihren Energieinhalten so unterscheiden sollten, daß beide von ganz verschiedener Größenordnung wären, ist nicht anzunehmen. Vielmehr werden wir uns vorzustellen haben, daß auch in den Atomen der nichtstrahlenden Elemente enorme Energiemengen aufgespeichert ruhen. Wir können theoretisch die Möglichkeit nicht mehr von der Hand weisen, daß es auch dem Chemiker einst gelingen möchte, ein Element in ein anderes umzuwandeln. Aber der radioaktive Zerfall lehrt uns, daß bei der Umwandlung eines Grundstoffes in einen anderen ungeheure Energiemengen entweder aufgewendet werden müßten oder andererseits gewonnen werden würden. Letzteres dürfte namentlich dann der Fall sein, wenn ein Element von höherem, in ein solches von niederem Atomgewicht übergeführt würde. Wenn sich daher der Traum der Alchimisten einst erfüllen sollte, daß die Umwandlung des Bleis in Gold gelänge, so würde der Wert des dabei gewonnenen Goldes ganz unbedeutend sein im Vergleich zu dem Werte der dabei gewonnenen Energie.

Doch kehren wir jetzt aus dem Reiche der Phantasie in die Wirklichkeit zurück! Wir haben gesehen, daß man vermittels des Elektrometers im stande ist, die geringsten Spuren von radio-

aktiven Stoffen nachzuweisen. Durch Bestimmung ihrer Halbierungskonstante oder derjenigen ihrer Zerfallsprodukte hat man auch die Möglichkeit jeden radioaktiven Stoff, der in noch so kleiner Menge vorliegt, von jedem anderen zu unterscheiden. Diese feinen und zuverlässigen Meßmethoden haben zu der Erkenntnis geführt, daß die radioaktiven Stoffe auf unserem Weltkörper sehr verbreitet sind.

Den Physikern war es längst bekannt, daß die atmosphärische Luft niemals völlig frei von Ionen ist. Elster und Geitel haben nun nachgewiesen, daß dieses Leitvermögen der Luft von einem Gehalt an Radiumemanation herrührt. Sie spannten einen 30 m langen Kupferdraht in freier Luft auf, luden ihn auf ein hohes negatives Potential auf und fanden diesen Draht nach einigen Stunden sehr merklich radioaktiv. Die darauf niedergeschlagene, radioaktive Substanz erwies sich in jeder Hinsicht, namentlich durch die Abklingungsgeschwindigkeit der Aktivität, identisch mit den Zerfallsprodukten der Radiumemanation.

Der Gehalt der atmosphärischen Luft an Emanation ist örtlich wie zeitlich recht schwankend. Im allgemeinen steigt er in der Richtung vom Meere zum Gebirge und ändert sich mit der Windrichtung und dem Barometerstand. Die Luft am Erdboden ist stärker ionisiert, als diejenige in höheren Schichten. Besonders reich an Emanation ist Luft aus dem Erdboden, Kellerluft und Höhlenluft. Das ist sehr begreiflich, weil die Emanation einem Gehalt des Erdbodens an Radium entstammt.

Die meisten Erdböden sind radiumhaltig, namentlich die Tonböden. Besonders stark radioaktiv sind Erdarten vulkanischen Ursprunges und Höhlenlehme, wie z. B. der Fangoschlamm aus Battaglia und vulkanische Ablagerungen und Höhlenlehme aus Capri. Doch selbst der Gehalt dieser Böden an Radium beträgt noch nicht ein Tausendstel von dem der Joachimsthaler Pech-

blende. Erheblich höher ist die Radioaktivität der Sedimente mancher Thermalquellen. Hat sich doch der Schlamm der Baden-Badener Hauptstollenquelle und des „Ursprungs" nahezu hundertmal stärker aktiv erwiesen, als der Fangoschlamm.

Die hohe Aktivität der Quellsedimente ist darauf zurückzuführen, daß die meisten Thermalquellen Radium oder doch Radiumemanation enthalten. Jedes Quellwasser führt nachweisbare Mengen von radioaktiver Emanation mit sich, in den Thermalquellen aber findet sie sich in viel höherem Grade. Die Gasteiner, Baden-Badener, Wiesbadener Quellen, diejenigen der böhmischen Bäder und viele andere enthalten reichlich Radiumemanation, deren Menge vielfach ein wenig schwankt. Der Gehalt dieser Quellen an Emanation ist besonders deshalb bemerkenswert, weil den auf Grund chemischer Analysen der Mineralwässer hergestellten künstlichen Wässern dieser Bestandteil selbstverständlich abgeht. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Halbierungskonstante der Radiumemanation 4 Tage beträgt, daß also auch das in Flaschen aufbewahrte Wasser sehr schnell an Emanation verarmt. Das mag für die therapeutische Wirkung der meisten von ihnen bedeutungslos sein, ob dies aber für alle gilt, muß mindestens zweifelhaft erscheinen. Jedenfalls lehren diese neuesten Entdeckungen, daß die von Balneologen schon früher häufig vertretene Ansicht, daß natürliche und künstliche Mineralwässer nicht identisch seien, durchaus zutrifft.

Die Radioaktivität der Heilquellen verdient um so mehr Beachtung, weil die von den radioaktiven Stoffen ausgehende Strahlung physiologische Wirkungen auszuüben vermag, die denen der Röntgenstrahlen in vielen Beziehungen ähneln. Wir haben schon vorher gesehen, daß diese Strahlen chemisch sehr wirksam sind und namentlich auch auf organische Stoffe verändernd einwirken. Das zeigt sich auch gegenüber lebenden Organismen.

Die physiologische Wirkung auf die Haut, welche die von Radium ausgehenden Strahlen hervorruft, gleicht der bei der Röntgenbestrahlung auftretenden durchaus, nur macht sie sich in heftigerer Weise bemerkbar. Fixiert man ein mäßig starkes Radiumpräparat, das man in eine durch eine dünne Glimmerplatte abgeschlossene Kautschukkapsel eingehüllt hat, auf der Haut, so genügt eine etwa 5 Minuten währende Einwirkung, um nach 2—3 Wochen Haarausfall zu veranlassen, während eine Bestrahlung von 10 - 15 Minuten Dauer innerhalb der gleichen Frist eine lebhafte Dermatitis, Blasenbildung und Exkoriation, noch länger währende sogar eine tiefe, in das Bindegewebe reichende Ulzeration zur Folge hat. Die histologischen Veränderungen, welche Halkin und Scholtz feststellten, entsprechen ganz den Vorgängen, wie man sie bei der Röntgenbestrahlung gefunden hat. Daß sie indessen intensiver in die Erscheinung treten, zeigt sich schon darin, daß die makroskopischen Veränderungen, welche bei Röntgenstrahlen erst nach zwei Wochen bemerkt werden und nur äußerst selten sich unmittelbar nach der Bestrahlung in der Form eines leichten Erythems, der sog. „Vorreaktion“ Holzknecht's, manifestieren, bei Radiumbestrahlung schon nach 20 Stunden beobachtet werden. Mikroskopisch läßt sich die Reaktion in einer deutlichen Erweiterung der Gefäße des Papillarkörpers nachweisen.

Daß man bald versuchte, die physiologischen Wirkungen der Radiumstrahlen in den Dienst der Therapie zu stellen, ist nicht zu verwundern. Zellige Neubildungen und infektiöse Prozesse der Haut, also Karzinom, Sarkom und Lupus, kommen vor allen Dingen für die Heilversuche in Betracht. Auch könnte das Salz als Depilatorium zur Zerstörung von an abnormer Stelle gewachsenen Haaren benutzt werden. Indessen steht gerade der letzteren Verwendung die intensive Tiefenwirkung entgegen, die zwar den Haarwuchs dauernd

beseitigt, aber gleichzeitig die Gefahr ulzeröser Veränderungen in dem subkutanen Bindegewebe mit sich bringt. Somit trägt die therapeutische Anwendung der Radiumstrahlen die auch bei Röntgenbehandlung jener Affektion beobachteten Nachteile in potenzierter Weise an sich und dürfte schon aus diesem Grunde kaum in Erwägung gezogen werden.

Auf der anderen Seite ist an der Fähigkeit der Radiumstrahlen bei bösartigen Tumoren ähnlich den Röntgenstrahlen Heilung zu bringen, nach den Untersuchungen von Perthes, Scholtz, Exner, Schiff, Lassar u. a. nicht zu zweifeln. Hier hat die Verwendung der Becquerelstrahlen gegenüber den Röntgen- und ultravioletten Lichtstrahlen jedenfalls einen Vorzug. Man kann das Radium in Aluminiumkapseln überaus bequem und ohne kostspielige, komplizierte, nicht überall zu beschaffende Apparate leicht in allen Körperhöhlen applizieren.

Von großer Bedeutung für die theoretische Erkenntnis der chemischen Vorgänge, welche sich bei der Radiumbestrahlung maligner Geschwülste abspielen, ist eine Untersuchung Neuberg's über die Wirkungsweise des Radiums bei Karzinom. Er zeigte, daß die Strahlen gekochtes, abgetötetes Krebsgewebe chemisch nicht verändern, wohl aber nicht gekochtes, überlebendes Material. Unter dem Einfluß des Radiums zeigt sich hier eine Steigerung des Eiweißzerfalles, die offenbar fermentativer Art ist. Das in jeder Zelle tätige, autolytische Enzym ist in Neubildungen besonders reichlich vorhanden, die daher zum Zerfall neigen. Während nun nach Untersuchungen von Henri Sigval und Schmidt-Nielsen viele Enzyme, wie Trypsin, Lab, Pepsin u. a. m. gegen Radiumstrahlen sehr empfindlich sind, besitzt das autolytische eine spezifische Resistenz. Die Wirkung des Radiums auf die Gewebe hat man sich so vorzustellen, daß alle den Stoffwechsel bewirkenden, lebenerhaltenden Enzyme vernichtet werden,

und daß die so abgetötete Zelle dann durch das autolytische Ferment aufgelöst wird. Neubildungen aber zerfallen durch Radium schneller, weil sie reicher an autolytischem Ferment als normales Gewebe sind.

Bei der Bestrahlung mit in Kapseln eingeschlossenem Radiumsalz gelangen nur die durchdringenderen β- und γ-Strahlen zur Wirkung. Neuerdings hat H. Lieber eine Form der Verwendung von Radiumsalz empfohlen, welche auch die α-Strahlen zur Geltung kommen läßt. Zu dem Zwecke überzieht er Celluloidstäbchen oder -plättchen in geeigneter Weise mit einer dünnen Radiumbromidschicht, die mittels einer äußerst feinen Lackschicht fixiert wird. Diese dünne Haut ist auch für den größten Teil der α-Strahlung durchdringbar. Es kommen aber gerade diesen leichtabsorbierbaren Strahlen spezifische Wirkungen auch in physiologischer Hinsicht zu.

Aschkinass und Caspari zeigten zuerst, daß die α-Strahlen die Entwicklung der Bakterien hemmen, und Pfeiffer und Friedberger, die diesen Gegenstand weiter verfolgten, wiesen die bakterizide Wirkung dieser Strahlen sowohl für saprophytische wie für pathogene Mikroben nach. Später zeigte Scholtz, daß auch die durchdringenden Strahlen des Radiums, wenn auch nur die leichter absorbierbaren von ihnen, noch eine Abtötung von Typhusbazillen hervorzurufen vermögen. In bezug auf die bakterizide Wirkung gleichen also die Becquerelstrahlen den ultravioletten Lichtstrahlen, und beide ergänzen sich gegenseitig. Ist die Wirkung der letzteren eine stärkere, so vermögen andererseits erstere tiefer einzudringen.

Andauernde Radiumbestrahlung vermag bei Tieren und Pflanzen die heftigsten physiologischen Wirkungen hervorzurufen. Die Bestrahlung von Rückenmark und Gehirn ruft Lähmung hervor, die Mäuse, aber auch größere Tiere in wenigen Tagen zugrunde richtet. Schmetterlings-

larven werden in ihrer Entwicklung ebenso gehemmt, wie das Wachstum von Pflanzen und das Keimen von Samenkörnern.

Eine eigenartige Wirkung der Radiumstrahlen auf das menschliche Auge ist von Giesel beobachtet und von Himstedt und Nagel näher studiert und aufgeklärt worden. Bei der Annäherung eines Radiumpräparates an die Schläfe, oder auch an den Hinterkopf, entsteht im Auge eine Lichtempfindung, wie sie, wenn auch in sehr viel schwächerem Grade, auch bei Röntgenstrahlen eintritt. Sie ist darauf zurückzuführen, daß der Glaskörper des Auges unter der Einwirkung der Strahlen zur Phosphoreszenz angeregt wird.

Nachdem die interessanten physiologischen Wirkungen der Radiumstrahlen erkannt waren, lag es nahe, Radiumsalzlösungen in erkranktes Gewebe zu injizieren, um so intensivere Wirkungen zu erzielen. Bei dem hohen Preise des Materials kommt, abgesehen von anderen Gründen, diese Verwendung in der Therapie praktisch kaum in Betracht. Dagegen steht in der Emanation und deren Umwandlungsprodukten ein Mittel zur Verfügung, um radioaktive Substanz, freilich in großer Verdünnung, in die Organismen einzuführen. Da wir vorher sahen, daß der geringe Gehalt an Emanation, den das Radium unausgesetzt erzeugt, den größten Teil der überhaupt vorhandenen Strahlung hergibt, so werden auch die physiologischen Wirkungen dieses Stoffes sehr bedeutende sein. In der Tat wirkt das Einatmen größerer Mengen Emanation giftig. Mäuse gehen in einer Emanation reichlich enthaltenden Atmosphäre schon nach wenigen Stunden zugrunde. Ähnlich heftige Wirkungen der Emanation auf Raupen und Mikroben wurde beobachtet. Ob man diese Wirkungen in der Form einer Inhalationstherapie wird nutzbar machen können, bleibt abzuwarten. Jedenfalls ist beständiges Einatmen einer mäßig mit Emanation beladenen Luft dem gesunden menschlichen Körper nicht schädlich. Er speichert

merkliche Mengen der radioaktiven Substanz auf, während er einen Teil durch den Atem und durch den Urin wieder abgibt.

In anderer Form hat Braunstein die Emanation in der Therapie zu verwenden empfohlen, nämlich in wässeriger Lösung, die in die erkrankten Gewebe injiziert werden soll. An die Stelle der Emanation setzt er auch deren Umwandlungsprodukte, indem er Bismutum subnitricum in einer Emanationsatmosphäre „induziert" und dieses Präparat zum Aufstreuen oder per os verwendet.

Über sehr interessante Versuche mit Emanationswasser hat kürzlich S. Loewenthal berichtet. Sie gelten der Frage, ob die spezifische Wirkung gewisser emanationshaltiger Thermen auf den radioaktiven Bestandteil zurückgeführt werden könne. Dieselbe Menge wässeriger Lösung von Radiumemanation, die bei gesunden Menschen keine merkbare Störung hervorruft, bewirkt bei Kranken, die an chronischem Gelenkrheumatismus leiden, sofort vermehrte Schmerzen, Anschwellungen, auch Entzündungen, kurz Erscheinungen, die der bekannten „Bäderreaktion" durchaus gleichen. Diese Versuche zeigen, daß die radioaktiven Bestandteile der Heilquellen in der Balneotherapie einen sehr beachtenswerten Faktor bilden.

Das Licht als Heilmittel.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „**Elektrizität und Licht in der Medizin**", veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Geh. Med.-Rat Prof. Dr. **E. Lesser** in Berlin.

„Mehr Licht!" rief der sterbende Goethe und zeigte damit, daß das Schwinden des Lichtes ihm am eindrucksvollsten das Herannahen des Todes ankündigte! Und wer wollte bezweifeln, daß das Licht das lebenbringende Prinzip ist, daß das Licht Körper und Geist anregt! Das beweist ja schon die tägliche Erfahrung, das beweisen die Erfahrungen der Nordpolfahrer, die in der langen arktischen Winternacht anämisch werden und unter einer starken psychischen Depression zu leiden haben. Erst mit dem wiederkehrenden Tageslicht röten sich ihre Wangen von neuem, und es kehrt Arbeitslust und Humor bei ihnen wieder ein.

In einer viel bestimmteren Weise läßt die genaue Beobachtung den direkten Einfluß, den das Licht auf den lebenden Organismus ausübt, erkennen. Es ist eine wohl konstatierte Tatsache, daß im Sommer Haare und Nägel schneller wachsen als im Winter, daß man sich im Sommer daher häufiger die Haare schneiden lassen muß, und das arabische Sprichwort: „In der Wüste wachsen die Bärte schneller"

hat sicher auch in dieser Beobachtung seinen Grund. Freilich ist hierbei die eine Fehlerquelle nicht ganz außer acht zu lassen, daß in den Gegenden, in denen die Jahreszeiten einen starken Wechsel der Belichtung bedingen, hiermit gleichzeitig auch ein großer Unterschied in der Temperatur verbunden ist und daß die Wärmewirkung einen erheblichen Anteil hieran haben könnte. Der experimentellen Forschung blieb es vorbehalten, uns hierüber volle Klarheit zu verschaffen. Sie hat uns über den Einfluß des Lichtes auf die Organismen die wichtigsten Aufschlüsse gegeben.

Schon die Versuche Moleschott's zeigten, daß Frösche im Licht mehr Kohlensäure ausscheiden als im Dunkeln und daß die Kohlensäureausscheidung entsprechend der Lichtstärke zunimmt. Pflüger konnte diese Ergebnisse bestätigen und zeigte weiter, daß es keineswegs der Einfluß des Lichtes auf den Sehnerven oder auf das Zentralnervensystem überhaupt sein könne, der die Erhöhung des Stoffwechsels bedingt. Denn der letztere trat in gleicher Weise bei Tieren ein, bei denen diese Organe eliminiert waren. Ferner stellte sich bald heraus, daß die verschiedenen Teile des Lichtes, die einzelnen Strahlengruppen von verschiedener Brechbarkeit, keineswegs die gleiche Wirkung haben, daß die bewegungsfördernde, die anregende, die inzitierende Wirkung vornehmlich den blauen und violetten Strahlen zukommt, während die Wirkung der roten Strahlen in dieser Richtung eine viel geringere ist. An Pflanzen und an niederen Tieren ist von Sachs, Engelmann, Finsen u. a. durch Versuche der Nachweis erbracht, daß es die chemisch wirkenden Strahlen sind, denen vor allem die inzitierende Wirkung zukommt.

Diese anregende Wirkung des Lichtes auf den Organismus wurde nun schon lange vor dieser experimentellen Klarstellung empirisch als Mittel zur günstigen Beeinflussung der Lebensvorgänge

benutzt, und schon im Altertum, schon bei den Römern, wurde die Besonnung des Körpers — das Sonnenbad — als wichtiges Beförderungsmittel der Gesundheit oder als Heilmittel für eine ganze Reihe von Krankheiten verwertet. Ich will nur ganz kurz daran erinnern, daß auch heute, besonders in der letzten Zeit, diese Anwendung des Lichtes wieder recht in Aufnahme gekommen ist. Es unterliegt keinem Zweifel, daß das Sonnenlichtbad einen wichtigen Faktor für die Anregung des Stoffwechsels, für die Regelung mancher Funktionen und für die Kräftigung des Körpers darstellt. Da aber die Sonne nicht immer scheint, kam zuerst der amerikanische Arzt Kellogg auf den Gedanken, an Stelle des Sonnenlichts das elektrische Licht zu setzen. So entstanden die heute weit verbreiteten und nicht immer nach streng wissenschaftlichen Grundsätzen arbeitenden elektrischen Badeanstalten. Die Einrichtung dieser Lichtbäder ist bekannt. Die verbreitetste Form sind die mit Glühbirnen montierten Kästen, und da muß allerdings bemerkt werden, daß es sich hier im wesentlichen nicht um eine Wirkung des Lichtes, sondern um eine Wärmewirkung handelt, daß also diese Glühlichtbäder strenggenommen mehr Schwitzbäder als Lichtbäder sind.

Anders steht es mit der Anwendung der Lichtbestrahlung mit elektrischem Bogenlicht, bei der neben der Wärmewirkung sicher eine erhebliche Lichtwirkung vorhanden ist. Durch farbige Glasscheiben läßt sich auch ein Teil der Lichtstrahlen ausschalten; besonders häufig werden blaue Scheiben verwendet, welche rot und gelb völlig absorbieren. Daß durch diese Bestrahlung unter Umständen wirklich Erfolge erzielt werden, ist nicht in Abrede zu stellen, wenn wir auch nicht imstande sind, eine Erklärung für den Hergang zu geben. So sind Erfolge von Bestrahlungen mit blauem Licht bei Pruritus gesehen worden, und ich selbst habe einen Fall von Acne

vulgaris gesehen, bei dem die verschiedensten Behandlungsmethoden erfolglos angewendet worden waren und der dann durch Blaulichtbestrahlung geheilt worden ist. Aber gerade diese Beobachtung führt mich zu dem zweiten, sehr viel wichtigeren Teil der Wirkung des Lichtes. Denn schon hier ist es zweifelhaft, ob die günstige Wirkung des Lichtes auf den Krankheitsprozeß nicht der schädigenden Wirkung desselben auf die Krankheitserreger, auf die Krankheitsursache zuzuschreiben ist.

Das Licht hat nämlich auch seine Schattenseiten! Es wirkt nicht nur günstig, nicht nur anregend auf die organischen Gebilde, es kann auch schädigend auf sie einwirken. Und diese schädigende Einwirkung wird in einem viel höheren Umfange von uns zur Heilung von Krankheitszuständen angewendet als die günstige Einwirkung.

Bereits im Jahre 1796 stellte die medizinische Fakultät in Göttingen die Preisaufgabe: „Quaenam sit lucis in corpus humanum vivum efficacia, tum noxia, tum praeter eam partem quam in visu agit, utilis ac salutaris", oder, um dieses nicht sehr klassische Latein ungefähr zu übersetzen: „Welches ist die Wirkung des Lichtes auf den lebenden menschlichen Körper, sowohl die schädliche, wie die — abgesehen von dem Einfluß auf das Auge — nützliche und heilsame Wirkung?" Hier sind bereits deutlich die beiden fundamentalen Unterschiede der Lichtwirkung, die anregende, den Stoffwechsel und das Wachstum fördernde, und die schädigende Wirkung unterschieden. Diese weit vorausschauende Aufgabe macht den damaligen Mitgliedern der Göttinger Fakultät alle Ehre. Ich habe leider nicht in Erfahrung bringen können, ob auch ein entsprechend vorgeschrittener Bearbeiter der Aufgabe sich den Preis errungen hat.

Mit dem Licht verhält es sich nicht anders als mit jedem Medikament. In kleiner Dosis ist

es ein Heilmittel, in großer Dosis wird es zum Gift!

Auch hier will ich nur ganz kurz an die zahlreichen Experimente erinnern, welche die Abschwächung und die Tötung von Bakterien durch das Licht bewiesen haben, und zwar durch Licht mit Ausschluß jeder Wirkung der Wärme. Ich will daran erinnern, daß z. B. die Selbstreinigung der Flüsse zu einem erheblichen Teil der Wirkung des Lichtes zugeschrieben wird. Es hat sich gezeigt, daß nur intensives Licht geeignet ist, diese Wirkung herbeizuführen, und Finsen hat das Wort geprägt: „Nicht das Licht, sondern das starke Licht tötet die Bakterien!"

Auch hier führt schon die tägliche Erfahrung zu wichtigen Ergebnissen. Die bekannte Erscheinung des Verbrennens der Haut durch das Sonnenlicht, das Erythema solare, ist ein wichtiges und seit undenklicher Zeit bekanntes Beispiel der schädlichen Wirkung des Lichtes. Die genaue Beobachtung dieser Erscheinung läßt uns bereits die allerwichtigsten Schlüsse über die Art der Wirkung und damit über die Möglichkeit der therapeutischen Verwendung des Lichtes ziehen. Die Beobachtung ergibt nämlich, daß nicht alle Menschen gleich leicht verbrennen, daß die Verbrennung bei Blonden stärker ist als bei Brünetten, daß ferner die Verbrennung im Frühjahr, in den ersten hellen Tagen stärker ist als später im Sommer, trotzdem hier die Menge und Kraft des einwirkenden Lichtes eine viel größere ist. Bei Ruderern sieht man die stets offen getragenen Teile, Gesicht und Hände, nicht verbrennen, während die nur bei der Ruderpartie offen getragenen Teile, die Arme, der Nacken und die oberen Teile der Brust stark verbrennen. Alle diese Beobachtungen weisen darauf hin, daß an gewissen Stellen oder unter gewissen Umständen die Haut so verändert wird, daß die schädigende Wirkung der Lichtstrahlen abgeschwächt oder aufgehoben wird. Diese Verän-

derung besteht in der Pigmentierung der Haut. Am einfachsten werden diese Dinge klargelegt durch die von mir gemachte Beobachtung eines Falles von Vitiligo, bei dem auf den Händen zahlreiche weiße, völlig pigmentlose Flecke vorhanden waren. Der Betreffende setzte sich auf einer Hochgebirgstour einer starken Sonnenwirkung aus und bekam eine starke Verbrennung bis zur Blasenbildung. Dieselbe betraf aber ganz ausschließlich die Vitiligoflecke. Die normale, ziemlich stark pigmentierte Haut blieb völlig unverändert. Diese Beobachtung erklärt auch die vorhin angeführten Fälle, das Verbrennen der Arme und des Nackens bei Ruderern, denn diese Teile sind weniger stark pigmentiert als die stets offen getragenen Hände und das Gesicht; sie erklären ferner das Verbrennen im Frühjahr und das Verschontbleiben im Sommer. Denn nach dem ersten Sonnenerythem, welches eine starke Pigmentierung zurückläßt, ist die Haut vor nochmaligem Verbrennen geschützt.

Diese Erfahrungen zeigen, daß die Zunahme der Pigmentierung gewissermaßen einen Selbstschutz darstellt, der die Haut vor den zu starken Einwirkungen des Lichtes schützt, und die Tatsache, daß die Pigmentierung der menschlichen Haut zunimmt, je näher die Heimat des betreffenden Volksstamms dem Äquator liegt, je mehr also die Lichtwirkung durch die Sonnenstrahlen zunimmt, steht hiermit in völligem Einklang.

Auch bei Tieren sind zahlreiche Beobachtungen gemacht worden, die in demselben Sinne zu erklären sind. Am auffälligsten sind die Farbenveränderungen beim Chamäleon. Wird das Tier im Dunklen gehalten, so hat es eine weißgraue Farbe, wird es belichtet, so wird die Haut braun oder schwarz. Die Untersuchungen haben ergeben, daß die sehr beweglichen Chromatophoren in der Haut infolge Belichtung rasch sich der Oberfläche nähern und dadurch die

dunkle, eine schädliche Wirkung des Lichtes verhütende Farbe bedingen. So bequem wie das Chamäleon hat es der Mensch leider nicht. Unsere Chromatophoren sind nicht so beweglich, und nur nach einer zunächst durch das Licht hervorgerufenen Entzündung oder in langsamer Weise tritt die Zunahme der Pigmentierung ein.

Die schützende Wirkung der braunen Farbe, der Umstand, daß die gebräunte Haut eine Lichtwirkung ohne Nachteil verträgt, die bei einer nicht pigmentierten Haut eine Verbrennung, eine Entzündung hervorruft, legt den Gedanken nahe, daß es ein ganz bestimmter Teil des Lichtes sein muß, der besonders schädliche Wirkung hat, nämlich derjenige, der gerade durch die braune Farbe absorbiert wird und nicht in die Tiefe gelangen kann. Schon Charcot hat die Vermutung ausgesprochen, daß die chemisch wirkenden Strahlen die Ursache des Erythems sind. Weiterhin haben Friedländer und Widmark diese Vermutung durch Versuche wahrscheinlich gemacht. Aber erst Finsen, dem genialen Begründer der wissenschaftlichen Lichttherapie, ist es gelungen, durch sorgfältig ausgeführte Experimente volle Klarheit in diese Frage zu bringen.

Den ersten Versuch stellte Finsen in der Weise an, daß er mit schwarzer Tusche einen Gürtel um den Arm malte und dann den Arm 3 Stunden lang dem Sonnenlicht aussetzte. Es trat ein Sonnenerythem auf; nur da, wo die Tusche die Haut geschützt hatte, blieb sie weiß. Nach einigen Tagen verschwand das Erythem und die Haut wurde pigmentiert. Nun wurde der Arm, aber ohne Tuschegürtel, wieder der Sonne ausgesetzt und das Resultat war das umgekehrte: die pigmentierten Stellen entzündeten sich nicht, nur da, wo die beim erstenmal durch Tusche geschützte Haut weiß geblieben war, entstand das Erythem. Den wichtigsten Versuch aber stellte Finsen im Jahre 1892 an. Er

brachte auf seinen Arm eine Bergkristallplatte, eine Reihe verschiedenfarbiger Gläser und einige mit Tusche gezeichnete Buchstaben an und setzte nun den Arm während 20 Minuten den Strahlen einer 80 Ampère-Lampe aus. Unmittelbar nach der Belichtung zeigte sich die ganze Haut, auch an den bedeckten Stellen etwas rot, überall gleichmäßig, nach 2 Stunden hatte die Röte abgenommen, nach einer weiteren Stunde aber wieder zugenommen, jedoch nur an den Stellen, die nicht zugedeckt waren. Die Unterschiede waren noch gering, aber am nächsten Morgen war das Resultat in scharfen Zügen auf der Haut zu sehen. Die Haut war dunkelrot und empfindlich, und nur da, wo die Glasstücke und die Tusche sie geschützt hatten, war sie weiß geblieben. Dagegen war auf der von der Bergkristallplatte bedeckten Stelle die Rötung genau so wie in der Umgebung; nur zwei kleine Fleckchen waren weiß geblieben, die Stellen, an denen die Platte mit Fischleim auf der Haut befestigt war. Nach einigen Tagen nahm die Rötung ab und machte einer Pigmentierung Platz, von welcher sich die weiß gebliebenen Stellen scharf abgrenzten, und noch $2^1/_2$ Monat später waren die Buchstaben deutlich auf dem Arm zu lesen.

Dieser Versuch bewies, daß es die chemisch wirkenden Strahlen, besonders die ultravioletten Strahlen sind, welche das Erythem hervorrufen, denn diese Strahlen, die Bergkristall ungehindert passieren, werden durch Glas, auch durch ungefärbtes Glas fast ganz absorbiert, können daher auf die darunterliegende Haut keine Wirkung mehr ausüben.

Aber auch nach einer anderen Richtung ist dieser Versuch sehr wichtig geworden. Während nämlich das durch die Wärmestrahlen hervorgerufene Erythem, welches überall, auch da, wo die Haut bedeckt war, auftrat, sich sofort nach der Belichtung zeigte, um nachher wieder abzublassen, trat das Lichterythem erst nach einer

Inkubationszeit von einigen Stunden auf und erreichte sein Maximum erst am nächsten Tage. Dieſe Inkubation der Lichtwirkung ist in der Tat eine sehr merkwürdige Erscheinung; noch mehr tritt sie bei Röntgenstrahlen auf, wo sie 8—14 Tage betragen kann, und bei Radium kann es sogar 1 Monat dauern, bis die erste Wirkung sich zeigt. Auch bei den kürzlich von Crzellitzer beobachteten Fällen von Ophthalmia electrica nach Einwirkung der ultravioletten Strahlen bei elektrischen Schmelzungen traten die ersten Erscheinungen erst 10—12 Stunden nach der Einwirkung auf.

Diese Versuche stellten also fest, daß die schädigende Wirkung nicht von allen Teilen des Lichtes in gleichmäßiger Weise ausgeht, sondern daß es besonders die chemisch wirkenden Strahlen, die blauen, violetten und ultravioletten sind, welche die Haut schädigen.

Auf dieser Basis baute Finsen seine Lichttherapie auf, und zwar kommen hier zwei ganz verschiedene, diametral entgegengesetzte Gesichtspunkte zur Geltung: es kann nämlich einmal die Behandlung den Zweck haben, die schädigende Wirkung des Lichtes auszuschließen und dadurch zur Heilung oder Besserung von Krankheiten zu führen, die unter dem Einfluß des Lichtes entstehen oder sich verschlimmern, und auf der anderen Seite kann die schädigende Wirkung des Lichtes benutzt werden, um krankhafte Gewebe zu zerstören und durch diese Zerstörung die Heilung der Krankheit herbeizuführen, — die negative und die positive Phototherapie.

Es sind eine Reihe von Krankheiten bekannt, bei welchen die Belichtung eine ganz entscheidende Rolle für die Auslösung oder die Verschlimmerung der Krankheitserscheinungen spielt. Der Typus dafür ist das Xeroderma pigmentosum, eine Krankheit, die auf einem offenbar angeborenen Zustand einer ganz beson-

ders großen Lichtempfindlichkeit beruht, die es bewirkt, daß schon in wenigen Jahren die erheblichsten Veränderungen, Atrophie, Pigmentierung, Gefäßausdehnung und schließlich Karzinom entstehen. Die Abhängigkeit von der Belichtung wird schon durch den Sitz der Veränderungen ausschließlich an den offen getragenen Körperstellen, besonders Gesicht und Händen auf das deutlichste bewiesen.

Auch eine andere Affektion, die Hydroa vacciniformis, die „summer-eruption" Hutchinson's, bei der unter dem Einfluß des Lichtes tiefgehende, zur Nekrose führende Entzündungen an den belichteten Teilen entstehen, gehört hierher. Während es sich hier offenbar um angeborene Zustände handelt, gibt es auch Krankheiten, bei denen durch eine toxische Einwirkung dieser Zustand der Überempfindlichkeit der Haut erst hervorgerufen wird. Die bekannteste ist die Pellagra, bei welcher nach langdauerndem Genusse von verdorbenem Mais, abgesehen von den anderen durch die Intoxikation hervorgerufenen Störungen, unter dem Einfluß der gewöhnlichen Belichtung Erytheme, die zu starker Pigmentierung und Abschuppung führen, auf den unbedeckten Körperteilen auftreten.

Auch die Tierpathologie liefert uns ein sehr interessantes Beispiel, die Buchweizenkrankheit, die bei Rindern, Schafen und Schweinen vorkommt und bei welcher nach Sonneneinwirkung Erythem mit Blasenbildung auftritt. Schon Darwin hat die ätiologische Bedeutung der Buchweizenfütterung erkannt, die gewissermaßen das konstitutionelle Moment darstellt, während die Sonnenbelichtung das okkasionelle, das auslösende Moment ist. Sehr wichtig sind die Beobachtungen an scheckigen Tieren; hier tritt ganz ebenso wie bei dem vorhin erwähnten Fall von Vitiligo das Erythem nur an den hellen Stellen auf, die dunklen bleiben verschont. Das Pigment läßt

die chemisch wirkenden schädlichen Strahlen nicht durchdringen, ganz entsprechend den vorhin ausgeführten experimentellen Feststellungen.

Alle diese Erfahrungen brachten Finsen auf den Gedanken, bei einer Krankheit, bei welcher die Lokalisation der Krankheitserscheinungen einen schädigenden Einfluß des Lichtes vermuten ließ, die schädliche Wirkung des Lichtes auszuschließen und hierdurch einen milderen Verlauf zu erzielen. Es sind dies die Pocken. Während bei den bekleidet gehenden Völkern die reichlichsten Eruptionen immer im Gesicht und auf den Händen sich vorfinden und der übrige Körper weniger stark ergriffen ist, treten bei den nackt gehenden Völkern die Pockeneruptionen über den ganzen Körper in ungefähr gleich reichlicher Weise auf. Finsen brachte die Pockenkranken so früh als irgend möglich in das „rote Zimmer", d. h. ein Zimmer mit roten Scheiben oder dichten roten Vorhängen, in welchem auch dafür gesorgt ist, daß beim Öffnen der Tür kein Tageslicht einfallen kann. Auf diese Weise wurden alle blauen, violetten und ultravioletten Strahlen völlig ausgeschlossen. Der Erfolg war ein glänzender. Wurde der Kranke früh genug in das rote Zimmer gebracht, so blieb das gefährlichste Stadium, das der Suppuration aus, die Pockeneffloreszenzen trockneten rasch ein, ohne sich zu Pusteln zu entwickeln, das Fieber fiel ab, es kam nicht zu der sonst gewöhnlich eintretenden zweiten Fieberperiode, dem Suppurationsfieber, und schließlich heilten die Pocken ab, ohne Narben oder jedenfalls ohne erhebliche Narben zu hinterlassen.

Diese Tatsachen sind inzwischen an den verschiedensten Orten bestätigt worden. Wenn auch bei uns die Pocken eine sehr seltene Krankheit sind, so könnte doch hier und da ein Fall vorkommen. Hier möchte ich die so leicht und billig herzustellende Einrichtung des „roten Zimmers" auf das dringendste empfehlen. Bei einer anderen, meist ja sehr harmlos verlaufenden,

aber doch manchmal auch schwerer auftretenden Krankheit, den Varizellen, würde für die letzteren Fälle die Behandlung im roten Zimmer ebenfalls sehr zu empfehlen sein. Übrigens hat sich herausgestellt, daß schon im Mittelalter und bei manchen Völkern auch jetzt noch die rote Farbe bei der Behandlung der Pocken eine Rolle spielt. In Japan, Rumänien, Tonkin werden die Pockenkranken in rote Tücher gehüllt oder mit roter Farbe angestrichen. Das Bestreichen der pockenkranken Haut mit Höllensteinlösung oder Jodtinktur dürfte aus demselben Grunde empfohlen sein. Auch die von Fürst angeführte Tatsache, daß bei hellgefärbten Kälbern die Vaccinepusteln besser angehen als bei dunklen und daß daher die ersteren vorgezogen werden, eine Erfahrung, welche man lange vor der wissenschaftlichen Erklärung gemacht hatte, gehört hierher. Durch die gemachten Erfahrungen hat man dann auch andere exanthematische Krankheiten im roten Zimmer zu behandeln versucht, Masern, Scharlach, Erisypel u. a., aber bisher ist über unzweideutige Erfolge bei diesen Krankheiten noch nichts berichtet worden.

Sie haben soeben gesehen, wie durch Finsen die Ausschaltung der besonders schädlich wirkenden, der chemisch wirksamen Strahlen benutzt wurde, um bei gewissen Krankheiten einen milderen Verlauf zu erzielen, und wie diese negative Lichttherapie in streng wissenschaftlicher Weise ihre Erklärung fand. Auf der anderen Seite ist es wiederum Finsen gewesen, der auf den Gedanken kam, die schädigende Wirkung des Lichtes und besonders gewisser Teile des Lichtes therapeutisch zu verwerten, indem er durch dieselben pathologische Gebilde zur Zerstörung zu bringen suchte. Finsen ging von den Beobachtungen aus, welche die schädigende und vernichtende Wirkung des Lichtes auf Bakterien erwiesen hatten, und fing mit seinen Versuchen bei einer durch Bakterien hervorgerufenen Er-

krankung der Haut an — dem Lupus. Gewiß hat auch der Umstand, daß der Lupus eine so schwer zur Heilung zu bringende Krankheit ist, dazu beigetragen, daß Finsen gerade diese Affektion für seine Versuche auswählte.

Die schwere Heilbarkeit des Lupus wird sofort verständlich, wenn wir uns an die anatomischen Verhältnisse und die Lokalisation der Krankheit erinnern. Es handelt sich um tuberkulöse Infiltrate, welche zunächst im Corium liegen, dann aber sowohl in die Epidermis, wie in das subkutane Gewebe eindringen und schließlich auch auf die tiefer gelegenen Teile, Perichondrium, Periost usw. übergreifen. Die Verbreitung folgt im allgemeinen den Gefäßbahnen. Bei der histologischen Untersuchung sehen wir, wie selbst in sonst noch ganz intakten Hautstellen schon die Umgebung der Gefäße von tuberkulösem Gewebe infiltriert ist, gewissermaßen die Vorposten der eigentlichen Krankheitsherde. Der zweite wichtige Punkt ist die Lokalisation, die so ganz gewöhnliche Erkrankung der Gesichtshaut. Denn in der Mehrzahl der Fälle ist der Lupus auf das Gesicht beschränkt, in anderen Fällen ist jedenfalls das Gesicht der Ausgangspunkt und der Hauptsitz der Krankheit.

Für die Behandlung des Lupus müssen vor allem zwei Gesichtspunkte aufgestellt werden: der eine ist die Zerstörung aller kranken Teile. Denn wenn nicht alle bereits erkrankten Gewebe zerstört werden, so kommt es selbstverständlich zu Rezidiven. Der andere ist die möglichste Erhaltung aller gesunden Teile. Denn da der Lupus meist das Gesicht betrifft, so ist natürlich eine möglichst konservative Therapie erforderlich, um ein günstiges kosmetisches Resultat zu erreichen. Ein Zerstörungsmittel, welches zwar alles Kranke vernichtet, dafür aber auch die Haut in ausgedehntem Maße zerstört, nützt dem Kranken nichts; seinen Lupus ist er zwar los geworden, aber er hat die Heilung

mit einer dauernden und schlimmen Entstellung des Gesichtes erkauft, die es ihm dauernd unmöglich macht, irgend eine Stellung zu erlangen.

Aus diesem Grunde sind für die Behandlung des Lupus, besonders des Gesichtslupus die groben Zerstörungsmittel, wie das Glüheisen und die starken Ätzmittel, welche gesunde wie kranke Teile in gleicher Weise vernichten, nicht geeignet. Auf der anderen Seite erfüllen auch die milden Mittel, welche zwar die gesunde Haut schonen, aber dafür nicht alles Kranke zerstören, wie der scharfe Löffel, nicht ihren Zweck. Relativ günstig wirken noch die Heißluftkauterisation nach Holländer und die protahierte Anwendung einzelner Ätzmittel, vor allem des Pyrogallols.

Nach beiden Richtungen als besonders günstig, sowohl bezüglich der Zerstörung des erkrankten, wie bezüglich der Erhaltung des gesunden Gewebes hat sich nun die Lichtbehandlung erwiesen in der von Finsen getroffenen Anordnung, bei welcher sich die schädigenden Wirkungen eben in den richtigen Grenzen nach beiden Seiten dosieren lassen. Die Lichtmenge, welche auf ein bestimmtes Hautgebiet appliziert wird, trifft zwar in gleicher Weise die lupösen wie die gesunden Gewebe. Aber die pathologisch veränderten Gewebe sind hinfälliger als die normalen, und sie fallen der Nekrose anheim, während die normalen Gewebe zwar in einen Entzündungszustand geraten, aber nach Ablauf desselben wieder völlig zur Norm zurückkehren. Die Frage, ob auch die Vernichtung der Tuberkelbazillen durch das Licht in wesentlicher Weise an der Heilung beteiligt ist, kann noch nicht als entschieden angesehen werden. Sicher ist, daß die Nekrose der Zellen und die reaktive Entzündung der umgebenden Gewebe einen ganz wesentlichen Anteil an der Heilung haben.

Nur mit wenigen Worten will ich auf die Technik eingehen, da ich diese Dinge ja als allgemein bekannt voraussetzen darf. Zuerst ver-

suchte Finsen die Behandlung im wesentlichen mit Sonnenlicht durchzuführen, aber aus leicht begreiflichen Gründen erwies sich die Benutzung des Sonnenlichtes auf die Dauer als nicht durchführbar. Immerhin möchte ich erwähnen, daß Dr. Bernhard in Samaden Lupuskranke stundenlang auf schrägen Schneeflächen in der Sonne spazieren gehen läßt und daß unter diesen Umständen das direkte und das reflektierte Licht eine außerordentlich intensive Wirkung ausübt, zumal der Reichtum des Lichtes an chemisch wirkenden Strahlen in höheren Regionen — Samaden liegt über 1700 m hoch — eine weit größere ist als in tieferen Gegenden. Aber eine derartige Applikationsweise ist natürlich nur unter Ausnahmebedingungen möglich. Finsen kam daher sehr bald zur Anwendung des elektrischen Bogenlichtes, und zwar einer starken Lampe von 30—40000 Normalkerzenstärke. Die Strahlen werden durch Bergkristallinsen — Bergkristall ist deswegen erforderlich, weil das Glas die ultravioletten Strahlen fast ganz absorbiert — zuerst parallel und dann konvergent gemacht, und es wird die Einstellung so eingerichtet, daß der Focus der Lichtstrahlen etwas tiefer als die Haut liegt, da dann der Focus der stärker brechbaren ultravioletten Strahlen, der der Linse näher liegt, ungefähr die Haut trifft. Durch Kühlvorrichtungen wird die Wärme nach Möglichkeit ausgeschaltet, denn ihre Einwirkung ist unerwünscht. Es handelt sich auch gar nicht um eine Verbrennung; es geht das schon daraus hervor, daß die Reaktion nicht, wie bei der Verbrennung, sofort, sondern erst nach einer Reihe von Stunden eintritt. Von der größten Wichtigkeit ist es natürlich, daß die Lichtstrahlen so tief als irgend möglich in die Haut eindringen, denn nur dann werden auch die tiefer gelegenen lupösen Infiltrate von der Wirkung erreicht werden. Da ist das Blut vermöge seiner roten Farbe ein wesentliches Hindernis, das die wirksamen blauen wie ultravioletten Strahlen nicht durchläßt.

Beweisend hierfür ist der bekannte Versuch Finsens. Wenn zwischen die Lichtquelle und das Spektroskop das Ohr gebracht wird, so sieht man im Spektroskop nur einen roten Streifen, alle anderen Teile des Lichtes werden durch das im Ohr kreisende Blut verschluckt; wird aber das Ohr durch zwei Glasplatten blutleer gemacht, so erblickt man das ganze Spektrum. Daher ist es nötig, durch ein Druckglas das Blut möglichst aus dem zu bestrahlenden Bezirk herauszudrücken, den betreffenden Teil durch Druck anämisch zu machen. Die Druckgläser, die gleichzeitig als Kühlvorrichtung dienen, müssen natürlich auch aus Bergkristall sein.

Die Resultate der Lichtbehandlung des Lupus sind jetzt allgemein bekannt, und ich brauche sie nicht besonders hervorzuheben. Über die eine Seite derselben kann überhaupt keine Frage sein: es gelingt mit keiner Methode, ein so gutes kosmetisches Resultat zu erzielen wie mit der Lichtbehandlung. Hierfür ist gerade die Schonung der gesunden Teile maßgebend. Nicht ganz so einfach ist die Beantwortung der zweiten Frage: Inwieweit ist die Finsenmethode imstande, den Lupus wirklich definitiv zur Heilung zu bringen? Hier ist es selbstverständlich geboten, die Grenzen festzustellen, welche den Erfolgen auch dieser Methode gezogen sind. Finsen selbst ist uns mit seiner objektiven Kritik vorausgegangen. Es sind vor allem zwei Momente, welche den Erfolg sehr beeinträchtigen können: das ist einmal das Vorhandensein ausgedehnter, starker Narben, in und unter denen noch lupöse Infiltrate vorhanden sind, und andererseits das Ergriffensein der Schleimhaut, besonders der Nase und des Mundes. Denn trotz aller Bemühungen sind die Schleimhauteruptionen des Lupus, besonders die tiefer gelegenen, für die Lichtbehandlung so gut wie unzugänglich geblieben. Hier müssen andere Methoden eingreifen, die leider nicht immer zu einer vollkommenen Heilung führen, so daß

später selbst bei völliger Heilung des Hautlupus von der Schleimhaut aus von neuem die Haut infiziert wird. Auch eine übermäßig große Ausdehnung des Lupus, mit der meist allerdings auch eine Erkrankung der tieferen Teile verbunden ist, gibt von vornherein eine nicht sehr günstige Chance für die vollständige Heilung. Am allergünstigsten sind die Aussichten bei umschriebenen, relativ jungen Lupuseruptionen. Zunächst könnte dies insofern als nicht besonders wertvoll erscheinen, als ja bei den umschriebenen Affektionen auch andere Methoden, vor allem die Exzision, zur Heilung führen. Aber es zeigt sich zu oft, daß die Exzision, selbst wenn ein erheblicher Teil der gesund erscheinenden Haut mit fortgenommen wird, nicht zum Ziele führt und daß doch Rezidive in der Narbe oder in der Umgebung derselben auftreten. Der Defekt ist gemacht und hat doch nicht zur völligen Heilung geführt.

Bei der Finsenbehandlung dagegen ist, selbst wenn ein Rückfall eintritt, nichts verloren, eine oder einige Wiederholungen der Behandlung führen schließlich zur definitiven Heilung. Schon Finsen hat sich dahin ausgesprochen, daß es von der größten Wichtigkeit ist, das Vertrauen der Bevölkerung für die Lichtbehandlung in der Weise zu gewinnen, daß die Lupuskranken schon im Anfang zur Behandlung kommen, ehe es zur größeren Ausdehnung des Krankheitsprozesses gekommen ist: mehr und mehr werden dann die ausgebreiteten, zerstörenden und schließlich nicht mehr heilbaren Formen verschwinden.

Einen nicht unerheblichen Punkt muß ich aber schließlich noch erwähnen — das ist die Langwierigkeit und die Kostspieligkeit der Finsenbehandlung. Es ist dies um so schwerwiegender als die große Mehrzahl der Lupuskranken den besitzlosen Klassen angehört. Hier ist die Hilfe öffentlicher und privater Mittel nicht zu entbehren. Glücklicherweise ist ja von beiden Seiten bei uns manches bereits erreicht worden. Aber be-

sonders der privaten Wohltätigkeit bietet sich hier noch ein großes und dankbares Feld!

Gegenüber dem Lupus kommen die anderen durch Finsenbehandlung günstig zu beeinflussenden Affektionen nur in geringem Maße in Betracht. Es sind das besonders der Lupus erythematodes, die Teleangiektasien und die Acne rosacea.

Auf den Erfahrungen Finsen's über die Wichtigkeit der ultravioletten Strahlen für die Lichtwirkung fußend, hat man das an violetten und ultravioletten Strahlen ganz besonders reiche elektrische Bogenlicht zwischen Metallelektroden zur Behandlung von Hautaffektionen herangezogen. Hier sind ganz besonders die Eisenlampe und die Quecksilberlampe zu erwähnen. Durch die Bestrahlung wird eine sehr heftige, aber, wie es scheint, ziemlich oberflächliche Dermatitis erzeugt, die auf der einen Seite inzitierend wirkt, so bei der Alopecia areata, und auf der anderen Seite die chronisch entzündlichen Infiltrate zur Resorption bringt. Bei Alopecia areata wird der Wiederersatz der Haare beschleunigt. Ich habe das auf das deutlichste gesehen bei einem Mann mit einer großen Anzahl von kahlen Stellen, die über den ganzen Kopf zerstreut waren. Die eine Hälfte des Kopfes wurde mit Eisenlicht bestrahlt, die andere vollkommen unbehandelt gelassen. Auf der bestrahlten Seite stellte sich der Haarersatz viel früher ein als auf der unbehandelten. Eine starke Wirkung läßt sich durch die Kromayer'sche Quarz-Quecksilberlampe erzielen, die auch, was die Handlichkeit anbetrifft, vor den früheren Konstruktionen wesentliche Vorteile darbietet.

Schließlich möchte ich noch mit wenigen Worten auf zwei andere Arten von Strahlen eingehen, die allerdings nicht als Lichtstrahlen bezeichnet werden können — die Röntgenstrahlen und die Radiumstrahlen, weil dieselben im Laufe des letzten Jahrzehnts eine große Bedeutung für die Behandlung mannigfacher Krankheits-

zustände erhalten haben und vermutlich in der Zukunft eine noch größere Bedeutung erhalten werden. Auf die therapeutische Verwertbarkeit der Röntgenstrahlen wurde man gebracht durch die üblen Folgen, die schweren Zerstörungen, welche in einzelnen Fällen infolge der Durchleuchtung sehr bald nach der Entdeckung beobachtet wurden. Man sah, daß es sich um ein physikalisches Agens von einer mächtigen Zerstörungskraft für organische Gewebe handelt. Es kam nun darauf an, die Wirkung dieses Agens so zu mildern, zu dosieren, daß die zerstörende Kraft nur so weit wirkte, wie es beabsichtigt war.

Gerade für die Röntgenstrahlen hat es sich nachweisen lassen, daß bei einer bestimmten Dosierung das erreicht wird, was von einem guten Zerstörungsmittel kranker Gebilde verlangt werden muß: Das Kranke wird zerstört, das Gesunde wird geschont. Es hat sich gezeigt, daß bei richtiger Dosierung die am wenigsten widerstandsfähigen Zellen, vor allem die rasch proliferierenden Zellen pathologischer Bildungen zerstört werden, während die normalen Gewebe nicht geschädigt werden. Selbst bei der Bestrahlung normaler Gewebe hat es sich gezeigt, daß die rasch wachsenden Zellen eher der Zerstörung anheim fallen als die stabileren. Daher hat man von vornherein versucht, die Neoplasmen, die aus stark proliferierenden Zellen gebildet werden, mit Röntgenstrahlen zu behandeln, vor allem die Karzinome und Sarkome.

Es darf jetzt als gesichert angesehen werden, daß die Röntgenbestrahlung die ausgezeichnetsten Erfolge bei der Behandlung des flachen Hautkrebses, des Ulcus rodens gibt, einer ja allerdings ganz benignen Karzinomform, aber trotzdem sind diese Erfolge nicht zu unterschätzen. Wenn auch das Ulcus rodens insofern benigne ist, als es nicht zur Infektion der Drüsen und zu Metastasierung führt, so ruft es doch lokal nicht un-

erhebliche Zerstörungen hervor. Aus diesem Grunde war auch die operative Entfernung nicht selten mit Schwierigkeiten verknüpft, zum mindesten in kosmetischer Hinsicht. Durch die Röntgenbehandlung dagegen wird die Heilung mit einer relativ unbedeutenden Narbe erzielt, und selbst wenn ein Rezidiv eintritt, was auch bei der Operation nicht ausgeschlossen ist, kann es durch eine erneute Röntgenbehandlung wiederum beseitigt werden.

Anders steht es mit dem eigentlichen tiefgreifenden Karzinom. Hier ist, solange die operative Entfernung auch nur mit einigen Chancen ausführbar ist, diese unter allen Umständen vorzunehmen. Die Röntgenbehandlung darf nur nach der Operation in prophylaktischer Weise oder bei inoperablen Karzinomen angewendet werden. Daß auch in solchen Fällen die zerstörende Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Neugebilde eintritt, sehen wir aus der Verkleinerung, ja manchmal aus dem Verschwinden der nicht mit Haut bedeckten Tumoren und aus der Heilung der Ulzerationen. Aber eine wirkliche Heilung, eine Zerstörung alles Krankhaften läßt sich in diesen Fällen leider nicht erreichen.

Auch Sarkome, besonders Lymphosarkome werden ganz zweifellos durch Röntgenstrahlen in günstiger Weise beeinflußt. Aber auch hier gilt dasselbe, was ich eben für die Karzinome sagte: Solange die Operation noch möglich ist, muß diese unter allen Umständen vorgenommen werden.

Eine Krankheit, bei welcher die günstige Wirkung der Röntgenstrahlen ganz unzweifelhaft ist, ist die Leukämie. Nicht nur, daß die Blutbeschaffenheit sich der Norm wieder nähert, auch das Allgemeinbefinden, die Arbeitsfähigkeit der Erkrankten wird wesentlich gehoben.

Ein weiteres Gebiet für die Röntgentherapie sind die chronisch entzündlichen Affektionen der Haut, Psoriasis, chronische Ekzeme und hart-

näckige Fälle von Lichen ruber, und schließlich sind es einzelne parasitäre Affektionen, besonders der Favus, diese so schwer zu behandelnde Krankheit, bei welcher die Röntgenbehandlung ganz ausgezeichnete Resultate erzielt.

Aber ich möchte, trotzdem es ja allgemein bekannt ist, doch die großen Gefahren, welche die Röntgenbehandlung mit sich bringt, noch einmal betonen. Nur die sachgemäßeste Anwendung kann vor üblen Folgen schützen.

Auch die zerstörende Wirkung der Radiumemanation ist der Therapie dienstbar gemacht und zur Behandlung von kleinen Kankroiden, Naevis, Teleangiektasien mit Erfolg verwertet worden.

Diese kurze und flüchtige Übersicht zeigt, wie groß das Gebiet von Krankheiten ist, welche jetzt bereits in erfolgreicher Weise mit Licht behandelt werden, und es ist mit Rücksicht auf die Kürze der Zeit, seit der wir diese Behandlungsmethoden haben, nicht zweifelhaft, daß gewiß noch weitere Indikationen gefunden werden und der Kreis der Lichtbehandlung ein noch größerer werden wird. Aber schon heute können wir sagen, daß unser therapeutisches Rüstzeug durch das Licht eine ganz außerordentlich wertvolle Bereicherung erfahren hat, die uns in den Stand setzt, Heilungen zu erzielen, wo dies früher nicht möglich war, und in anderen Fällen Heilungen schneller, sicherer und mit geringerer Belästigung für den Kranken zu erzielen, als wir es früher vermochten. Es ist vor allen anderen das Verdienst Finsen's gewesen, die wissenschaftlich exakte Grundlage für diesen Zweig der physikalischen Therapie geschaffen zu haben!

Die Anwendung hochgespannter Ströme und des Elektromagnetismus in der Therapie.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „Elektrizität und Licht in der Medizin“, veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Prof. Dr. **H. Boruttau** in Berlin.

M. H.! In der sonst günstigen Rezension eines Buches über die Nervosität bemängelt ein bekannter Leipziger Neurologe,[1]) daß der Autor gar zu vieler Therapie bei den Neurasthenikern das Wort rede, insbesondere auch, daß er elektrotherapeutische Maßnahmen empfehle, deren die wissenschaftliche Heilkunde sich immer noch nicht schäme! Dieser von ihm schon von jeher ausgesprochenen prinzipiellen Verdammung des Glaubens an Heilwirkungen der Elektrizität wird die Mehrzahl der Ärzte sicher schon deshalb nicht beitreten, weil sich in dem ganzen Wirken des Autors der Schrift vom „physiologischen Schwachsinn des Weibes“ neuerdings ein geradezu gewohnheitsmäßiger Pessimismus kundgibt; denn wie soll man das Bestreben anders nennen, bei allen großen Genies, bei allen bedeutenden

---

[1]) Vorliegender Vortrag wurde mehrere Monate vor dem Tode Möbius gehalten, und es lag natürlich dem Verfasser nichts ferner als eine Schmälerung der wirklichen Verdienste dieses originellen Forschers.

Männern, die wir verehren, das Krankhafte mit Gewalt herauszufinden, zu betonen und im Detail zu beschreiben? „Pathographie" nennt sich dieser neueste Zweig allgemein- und medizin-geschichtlicher Forschung. Doch ich komme vom Thema ab: ich wollte zugeben, daß die Elektrotherapie auch heute noch, wenn nicht völlige Ablehnung, so doch berechtigte Skepsis sicherlich selbst herausfordert durch gewisse Auswüchse, wie besonders die Anpreisung wissenschaftlich noch zu wenig oder gar nicht begründeter Methoden, von der Ausbeutung durch Kurpfuscher gar nicht zu reden; denn die Schuld von uns Ärzten ist es sicherlich nicht, wenn das Gesetz nicht die nötige Handhabe bietet, die ehrenwerten Industrieritter, welche mit in seitengroßen Anzeigen angepriesenen Gichtketten, Voltakreuzen und deren neueren Modifikationen ein glänzendes Geschäft machen, dahin zu bringen, wo sie hingehören, nämlich ins Zuchthaus.

Es ist mir der Auftrag geworden, Ihnen von zwei in der neueren Zeit aufgekommenen Zweigen der Elektrotherapie zu erzählen, deren Anwendung mehr als irgendwo anders nach übertriebenen Erwartungen und pomphafter Reklame zu einer gewaltigen Enttäuschung geführt hat. Was von wirklichem Erfolg übriggeblieben ist, reduziert sich auf ein so überaus bescheidenes Maß, daß ich mir meine Aufgabe nur dadurch etwas dankbarer gestalten kann, daß ich etwas mehr bei der Geschichte und den so sehr interessanten physikalischen Grundlagen der Hochspannungs- resp. Hochfrequenztherapie verweile.

Wenn ein Kondensator für Elektrizität, in seiner allbekannten Form eine Leidenerflasche, durch einen Draht hindurch entladen wird, welcher die vom Physiker als Selbstinduktion bezeichnete Eigenschaft besitzt, so findet kein einfach gleichförmiges Hindurchströmen der Elektrizität, sondern ein Hinundhergehen derselben statt, wie vor etwa 50 Jahren Feddersen gezeigt hat. Er

nahm ein Bild des Entladungsfunkens im rotierenden Spiegel auf, wodurch die Frequenz der Schwingungen gemessen werden kann. Von ihm, wie später von Lorenz wurde dabei das Gesetz der mathematischen Abhängigkeit derselben von der Größe von Selbstinduktion und Kapazität des Systems gefunden. Bekanntlich beruhen auf der Weitererforschung dieser Dinge die bahnbrechenden Versuche von Heinr. Hertz, welche die geradlinige Ausbreitung solcher elektrischer Schwingungen im Raume erwiesen und damit den theoretisch längst postulierten Zusammenhang zwischen Licht und Elektrizität experimentell festgestellt und zu praktischen Ergebnissen von der Bedeutung der sog. Funkentelegraphie geführt

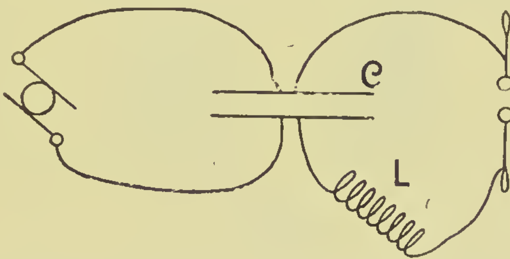


Fig. 1.

haben. Ein oder mehrere durch eine geeignete Elektrizitätsquelle, wie einen Ruhmkorff'schen Funkeninduktor oder eine Wechselstrommaschine geladene Kondensatoren liefern somit bei der Entladung durch eine Drahtspule (Fig. 1) in dieser elektrische Schwingungen von gewisser Stromstärke, welche viel höher sein kann als diejenige, die die Stromquelle bei der Ladung liefert, und von im allgemeinen sehr hoher Frequenz. Beide ergeben sich aus dem Selbstinduktionskoeffizienten L der Spule und der Kapazität C des Kondensators. Die Elektrizität schwingt gewissermaßen zwischen diesen beiden hin und her, und wird dies am besten tun können, wenn die beiden aufeinander abgestimmt sind

wie zwei grobschwingende tönende Körper, z. B. Stimmgabeln. Deshalb spricht man hier auch von Resonanz, also elektrischem Mitschwingen.

Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft muß natürlich das Fließen mit solchen hohen Intensitäten ein sehr kurzdauerndes sein, die Schwingungen werden rasch an Amplitude abnehmen oder „stark gedämpft“ sein; so berechnet sich z. B., daß bei Entladung einer Leidenerflasche von mittlerer Größe, die auf 50000 Volt geladen wurde, durch einige weite Drahtwindungen die Schwingungsfrequenz $^1/_2$ Million in der Sekunde beträgt, aber schon die 16. Schwingung nur noch den dritten Teil der



Fig. 2.

Anfangsamplitude besitzt. Man bekommt also einen zeitlichen Verlauf in Gestalt dieser Kurve (Fig. 2), welcher sich bei periodischer Ladung und Entladung vermittels eines Ruhmkorff oder eines Wechselstromdynamo periodisch wiederholt. Die Pausen werden um so kürzer sein, je höher die Wechselzahl der Stromquelle, durch deren Steigerung sich schließlich auch die Dämpfung verringern läßt. Wie es möglich ist, auch das Ideal ungedämpfter Hochfrequenzschwingungen zu erreichen oder ihm nahezukommen, darauf können wir hier nicht näher eingehen; es sei nur bemerkt, das Hermann Simon's singender Lichtbogen dazu das geeignete Mittel liefert.

Es haben nun ziemlich gleichzeitig vor etwa 15 Jahren der tschechisch-amerikanische Tech-

niker Nikola Tesla und der Pariser Physiker und Physiologe A. d'Arsonval gezeigt, daß man solche hochfrequente Wechselströme von noch viel höherer Spannung erzeugen kann, durch dasselbe Mittel, durch welches wir beim gewöhnlichen faradischen Apparat aus den niedergespannten Stromstößen von ein oder zwei Elementen mit ihrem Unterbrecher solche von bis zu 50 Volt erzeugen, nämlich durch Induktion von einer Spule von wenig Windungen auf eine windungsreichere. Man nennt allgemein ein solchem Zwecke dienendes Spulenpaar einen Transformator (auch der gewöhnliche Induktionsapparat ist ein solcher; die Transformatoren der Starkstromtechnik dienen gewöhnlich dem

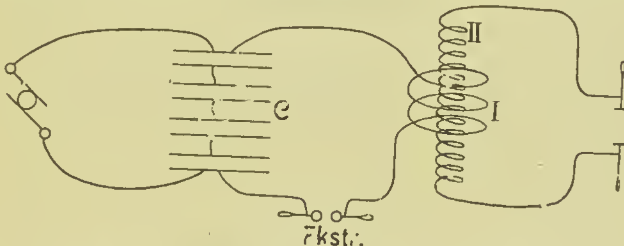


Fig. 3. Schema der Tesla'schen Versuche.

Hinuntertransformieren). Ein Teslatransformator (Fig. 3) hat also folgende Einrichtung: Er besteht aus Hochspannungsstromquelle, einem oder mehreren Kondensatoren, Funkenstrecke, primärer Spirale und zu dieser paralleler, von ihr durch Luft oder besser Öl isolierter windungsreicherer Sekundärspirale. In dieser letzteren werden Hochfrequenzströme von so hoher Spannung erzeugt, daß auch ohne Schluß des Kreises an den Enden die Elektrizität in Form von Büscheln, Funkengarben usw. ausströmt. Schon Tesla fielen nicht nur die schönen Lichterscheinungen (auch im „Hochfrequenz- oder Hertzschen Schwingungsfelde" an Geißler'schen Röhren usw.) auf, sondern auch die geringe oder fehlende physiologische Wirkung.

Diese letztere wurde von d'Arsonval näher untersucht und kann auch an den Primärwindungen des Teslatransformators konstatiert werden, wenn man den Durchgang des Hauptstroms der Stromquelle durch den Körper dadurch verhindert (Fig. 4), daß man die Spirale nicht in Serie mit der Funkenstrecke anbringt, sondern diese zwischen die inneren oder „vorderen" Belege zweier Kondensatoren setzt, welche gleichzeitig mit der Stromquelle verbunden sind, während die Spirale zwischen die äußeren oder „hinteren" Belege kommt. Man kann dann — es sind dies gleich

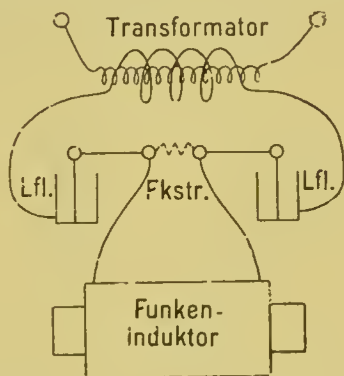


Fig. 4. D'Arsonval-Transformator.

die Hauptmethoden der Hochfrequenztherapie — von der Primär- oder von der Sekundärspirale unipolar oder bipolar zum menschlichen Körper ableiten, oder man kann auch die Windungen der Primärspule so weit machen, daß man gleich den ganzen Menschen darin Platz nehmen lassen kann: der bekannte d'Arsonval'sche Solenoidkäfig: „Autokonduktion" hat d'Arsonval dieses Verfahren genannt. Nun leuchtet ja allerdings die Glühlampe des „Demonstrationsringes" hell auf, welchen ich parallel zu den Windungen des „kleinen" oder „großen" Solenoids halte, aber ob wirklich in dem ruhig innerhalb des Solenoids stehenden Menschen, der aus dem Chaos von

Elektrolytmassen und semipermeablen Membranen besteht, als welches seinen Zellenbau die moderne physikalische Chemie darstellt, — ob in ihm wie in einem Drahtring oder in einer Spirale Ströme induziert werden können, ist mindestens zweifelhaft; ich komme später bei der elektromagnetischen Therapie noch kurz darauf zurück. d'Arsonval hat nun seinerzeit Kaninchen und andere Versuchstiere in das Solenoid gesetzt und angeblich unter der Hochfrequenzwirkung bedeutende Stoffwechselsteigerungen erhalten: er hat daraufhin die Prüfung dieser Behandlung zunächst bei Stoffwechselkrankheiten am Menschen empfohlen und sich dabei, das muß man ihm lassen, durchaus nicht in bestimmter Weise zum voraus ausgesprochen: bei der suggestiven Wirkung, welche aber bekanntermaßen die Empfehlung seitens eines populären Gelehrten und eindrucksvollen Redners gerade bei unseren westlichen Nachbarn auszuüben pflegt, war es kein Wunder, daß die Kliniken Frankreichs alsbald von den glänzendsten Heilerfolgen zu melden wußten: Apostoli, Berlioz, Moutier u. a. sahen bei aller Art Krankheiten die Diurese vermehrt, bei Gichtikern die Harnsäure besser ausgeschieden und die Zahl der Anfälle vermindert; bei Diabetikern wurde Absinken der Zuckerausscheidung gesehen; vor allem aber sollte der arterielle Blutdruck beeinflußt werden und zwar in der Weise, daß er zuerst stark anstiege und weiterhin absinke. Es ist bezeichnend, daß dementsprechend die Franzosen die Hochfrequenz auch sowohl (anfangs) angewandt haben um bei Herzinsuffizienz eine Drucksteigerung zu bewirken, als auch gegen den zu hohen Blutdruck, die „Hypertension", in der wir doch schließlich nichts anderes sehen können als ein Symptom, dessen empirische Bekämpfung nichts mit rationeller Therapie zu tun hat. Bei uns hat man von vornherein mit Recht der ganzen Hochfrequenztherapie sich sehr skeptisch gegenübergestellt, wie der erste größere einführende Vortrag zeigt, welchen Geh.-Rat

Eulenburg 1900 hier im Verein für innere Medizin darüber gehalten hat. In dasselbe Jahr fällt die durchaus nötige und wichtige Unternehmung, die d'Arsonval'schen Angaben über Stoffwechselsteigerungen zu kontrollieren. Ad. Loewy und Toby Cohn stellten am Menschen mit Hilfe des Zuntz'schen Respirationsapparats Messungen des Gaswechsels an und fanden absolut keine die Fehlergrenze überschreitende Veränderung desselben im Hochfrequenzsolenoid! Es ist nach ihnen und ich glaube nach vernünftiger Einsicht überhaupt klar, daß die Wirkungen im Tierversuch darauf zurückzuführen waren, daß die Tiere beunruhigt waren und sich nicht ruhig verhielten (trotz gegenteiliger Versicherung von d'Arsonval und Charrin). Die Wirkung der Hochspannung auf die langen Haare der Tiere z. B. muß diese allein schon beunruhigen. In einem Bericht über zahlreiche Anwendungen an Patienten in der gleichen Nummer der Deutschen Medizinischen Wochenschrift hat denn auch Cohn das Ergebnis der Hochfrequenztherapie als minimal, und wenn überhaupt vorhanden, dann großenteils auf reiner Suggestion beruhend hingestellt. Während die Franzosen Nervenleiden gerade als ungeeignet für diese Art der Behandlung erklärt hatten, fand Cohn vielfach, daß nervöse Schlaflosigkeit günstig beeinflußt wurde, indem Patienten mit wochenlanger Agrypnie erklärten, nach den Sitzungen im Solenoid zum erstenmal wieder geschlafen zu haben. Das gleiche war fast das einzige Ergebnis einer weiteren praktischen Prüfung, welche Kindler ein Jahr später auf Goldscheider's Anregung im Krankenhause Moabit an zahlreichen Patienten angestellt hat, und ich habe in einigen Versuchen, die ich in den letzten Wochen im Friedrichshain angestellt habe, auch nicht mehr gesehen, als in einem Falle bei einem arteriosklerotischen Nephritiker eine allerdings ziemlich auffällige dauernde Herabsetzung des zuvor sehr hohen Blutdrucks, die ich aber absolut

nicht — post hoc ergo propter hoc — auf die Arsonvalisation beziehen möchte. Die Zuckerausscheidung bei Diabetikern wurde nicht im mindesten beeinflußt. Inzwischen ist in Frankreich allerdings diese Therapie von vielen Ärzten kritiklos auf alle möglichen Affektionen ausgedehnt worden. Lungenschwindsucht wollte man gebessert und (natürlich mittels der gleich zu erwähnenden lokalen Applikation) Gonorrhoe geheilt haben! Neuerdings bringt ein Heft der Archives d'électricité médicale gar die Nachricht von einer wunderbaren Kur von Glaukom durch bloße Hochfrequenz! Im ganzen aber scheint auch dort der Enthusiasmus abzuflauen und die Erfolge wesentlich suggestiv aufgefaßt zu werden: „mes malades qui font ça disent qu'ils se portent mieux" erzählte mir ein beschäftigter Pariser Arzt. Und es kann ja auch nicht anders sein, denn, wie d'Arsonval selbst von vornherein ganz richtig bemerkt hat, und wir deutschen Physiologen neuerdings immer besser erkannt und exakter nachgewiesen haben, hat jedes erregbare Gebilde eine bestimmte Reizfrequenz, auf die es am besten anspricht, resp. eine bestimmte Geschwindigkeit (Steilheit der Kurve) des reizenden, sei es elektrischen oder anderen Prozesses, innerhalb gewisser Grenzen wenigstens, auf die es bei mittleren Stärken anspricht: steigert man diese Geschwindigkeit resp. Frequenz, so muß man auch die Stärke steigern, und zwar nach Nernst im quadratischen Verhältnis: ja ich bin im Gegensatz zu Einthoven und Wertheim-Salomonson der Ansicht, daß die Fühlbarkeit der Hochfrequenzströme und deren Wirkungen auf Nervmuskelpräparate vom Frosch nur auf der auch in den sonst vortrefflichen Versuchen dieser Autoren noch mangelhaften Dämpfung beruhen, gewissermaßen Anfangszuckungen im Sinne Bernstein's sind. Die Schwingungsreihe jedes einzelnen Entladungsfunkens bedeutet nur einen Reiz; ebenso zahlreiche ununterbrochene und sämtlich gleichgroße

Schwingungen würden gar nichts machen, da ja das Frequenzmaximum für den Nerven nach unseren Erfahrungen für gewöhnliche immerhin steil verlaufende Induktionsschläge 500 per Sekunde beträgt, für den Muskel noch weit weniger, am wenigsten für den träge sich zusammenziehenden glatten Muskel, für den meiner Erfahrung nach die wenig frequenten sinusoidalen Ströme, die wir z. B. in den Wechselstrombädern anwenden, das spezifische Exzitans sind. Wenn wir Stoffwechselwirkungen haben wollen, so werden wir uns an diese halten, im geraden Gegensatz zur Hochfrequenz!

Aber den Hochfrequenzströmen kommt doch noch eine gewisse Wirkung zu, auf die ich zum Schluß zu sprechen kommen möchte, nämlich auf die Haut: durch die infolge der mangelhaften Dämpfung vorhandene, wenn auch geringe, erregende Wirkung auf die Gefühlsnervenendigungen erzeugen sie ein prickelndes Gefühl, zugleich auch eine Wärmeempfindung auf der Haut. Diese mag zum Teil auf wirklicher Wärmeentwicklung beruhen, da die in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmengen nicht ganz klein sind.

Man hat nun Besserung von Ekzemen, selbst Beeinflussung von Lupusknoten angegeben, bei denen übrigens vielleicht auch eine Wirkung elektrischer Strahlen kürzerer Wellenlänge im Spiel ist, die der durchaus anerkannten Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf lebende Gewebe entspricht. Daß aber in der Behandlung von Hautaffektionen die Hochfrequenz ebensoviel oder gar Besseres leistet, als die letzteren, glaube ich kaum! Die Methode für diese lokalen Applikationen ist am besten diejenige mit dem Oudin'schen Resonator (Fig. 5). Bei diesem schließen sich die Sekundärwindungen direkt an die primären des Teslatransformators an, oder vielmehr es ist eine Spirale an einem Ende fest, an dem anderen durch Schleifkontakt in die Leitung zwischen den äußeren oder hinteren

Kondensatorbelegen eingeschaltet, so daß das Verhältnis der Windungen und damit die Selbstinduktionen verändert werden können, was nötig ist, weil die sog. oder scheinbare Kapazität der eingeschalteten menschlichen Körper wechselt,

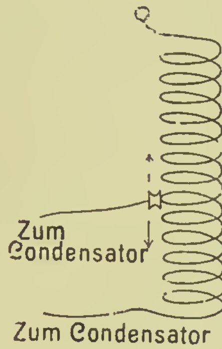


Fig. 5.

also zur Erzielung der b e s t e n R e s o n a n z, wie wir das (oben S. 72) genannt haben, das Verhältnis von L zu C veränderlich gemacht werden muß; daher auch der Name R e s o n a t o r. Hier

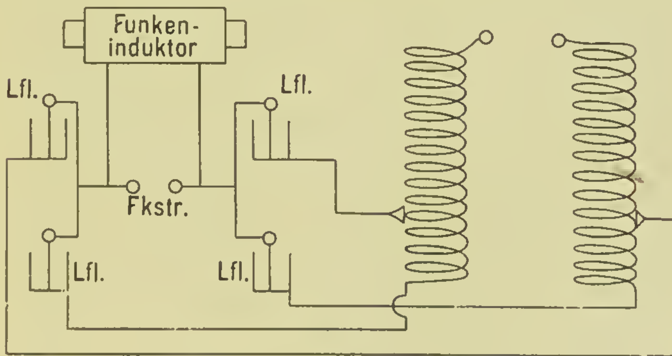


Fig. 6.

wird u n i p o l a r abgeleitet zum Patienten, der „geerdet" sein kann oder auch isoliert wie bei der Franklinisation, mit welcher die O u d i n i s a t i o n überhaupt manche Analogie hat, auch in bezug auf die Elektrodenformen: Pinsel, Büschel,

Glockenelektroden. Reiniger, Gebbert und Schall fabrizieren übrigens auch einen doppelpoligen Resonator (Fig. 6). Besondere Erwähnung verdienen noch die Kondensatorelektroden, bei denen Metallende und Körper durch ein Dielektrikum (Glas, Hartgummi) voneinander getrennt sind. Eine besonders großflächige Elektrode dieser Art stellt das sog. Kondensatorbett von Apostoli dar, bei welchem eine isolierende Matratze das Dielektrikum, eine darunter befindlich Metallplatte das eine, der Patient das andere Belege bildet. Man hat das Kondensatorprinzip noch in der verschiedensten Weise angewendet, so z. B. Rumpf in Hamburg, welcher den Zuleitungsdraht von einem Ende des Ruhmkorff in eine mit Staniolschnitzeln gefüllte Kochflasche eintauchen läßt, welche auf die zu beeinflussende Hautstelle des Patienten aufgesetzt wird. Wir kämen damit zu einer ganzen Reihe von Hochspannungs-Applikationen, welche mit der eigentlichen Hochfrequenztherapie mehr oder weniger verwandt sind und von den verschiedensten Autoren mehr oder minder gepriesen werden, so die Behandlung mit dunklen elektrischen Entladungen, Mortonschen Strömen, die Methode von Jodko-Narkewicz usw.: allen gemeinsam, sowie auch mit der Franklinisation, ist die Verwendung relativ hoher Spannungen; statt Sie länger damit zu ermüden, weise ich auf einen Bericht der amerikanischen elektrotherapeutischen Gesellschaft hin, in welchem die therapeutisch angewendeten Hochspannungsschaltungen ziemlich vollständig beschrieben sind.

Haben Sie nun gewiß aus meinen bisherigen Ausführungen den Eindruck gewonnen, daß mit den wirklichen Erfolgen der Hochfrequenztherapie recht wenig los ist, so gilt dies noch mehr für sog. elektromagnetische Therapie, von der man geradezu sagen kann, daß sie in den wenigen Jahren, seitdem sie von der Schweiz aus mit großer Reklame vor allem zu uns nach

Deutschland gekommen ist, auch schon abgewirtschaftet hat. Ein Ingenieur bei Hipp in Neufchâtel empfand ein Flimmern vor den Augen in der Nähe großer Elektromagnete, wenn der ihre Windungen durchfließende Strom schwankte und gründete hierauf die sog. Permeaelektrotherapie, welche darin bestand, daß der Pol eines großen Elektromagneten vor den leidenden Teil gebracht wurde, durch dessen Windungen starker Zentralenwechselstrom geleitet wurde. Der Name sollte offenbar besagen, daß durch die in den Körper eindringende induzierende Wirkung im Körper selbst Ströme und damit Heilwirkungen ausgeübt werden; und diese Anschauung hat ja L. Hermann's gelungene Versuche für sich, in geschlossenen Nervenschlingen Induktionsströme zu erzeugen und damit das Präparat zu erregen. Aber Versuche, eine derartige erregende oder vielmehr induzierende Wirkung auch nur in säuregefüllten Rohrspiralen zu erhalten, schlugen fehl, und der Erfinder nahm nunmehr seine Zuflucht zu einer Heilwirkung des magnetischen Feldes selbst, die ganz und gar mystisch ist. Wir müssen trotz aller geheimwissenschaftlichen Bestrebungen von Reichenbach bis auf du Prel und trotz der wundersamen Angaben des Herrn Geh. Rats Harnack in Halle jeden Zusammenhang zwischen ruhendem Magnetismus und physiologischen Vorgängen rundweg ableugnen. Bewegter Magnetismus kann nur insofern wirken, als er Stromschwankungen erzeugt, die ihrerseits reizen. Die weitere Geschichte der elektromagnetischen Therapie ist denn auch durchaus unerquicklich: Streit der Wechselstromelektromagnete bauenden und verkaufenden Firma gegen das Konkurrenzprodukt des rotierenden Elektromagneten mit Gleichstrom, häßliche Polemiken, zweifelhaftes Geschäftsgebahren, schließlich Bankrott . . . Die Erfolge, die bei allen möglichen besonders Nervenleiden gerühmt wurden, sind besonders seit einer kritischen Untersuchung, die

vor 2 Jahren von T. Cohn angestellt wurde, zusammengeschrumpft auf Suggestion bei Hysterie, sedative Wirkung bei Neuralgien usw.; als einzige objektive Wirkung bleibt die von den meisten empfundene Lichterscheinung.

Im ganzen spricht man jetzt wenig mehr von der elektromagnetischen Therapie, wenngleich Schrerk, Lilienfeld u. a. ihr noch warm das Wort reden. Jedenfalls, wenn sie nützt, so tut sie dies in noch höherem Maße rein suggestiv als die Franklinisation und die Hochfrequenz welche beide schon durch den umfänglichen Apparat und die Lichterscheinungen wirken.

Literatur über Hochfrequenztherapie.

1896. d'Arsonval, Comptes rendus de l'Acad. des Sciences. T. 123.
„ Apostoli, ebenda, T. 120.
1897. Oudin, ebenda, T. 124.
„ Apostoli u. Berlioz, ebenda, T. 125.
„ Moutier, ebenda, T. 128.
1899. Mann, Zeitschr. f. Elektrotherapie, Juliheft.
1900. Berichte des ersten elektromed. Kongresses, Archives d'électricité médicale, 1900, Nr. 92 und Zeitschr. f. Elektrotherapie, Bd. 2, H. 3.
„ Robineau, Thèse de Paris 1900.
„ Eulenburg, Deutsche med. Wochenschrift 1900, Nr. 11 u. 12.
„ Derselbe, Therapie der Gegenwart, Dez. 1900.
„ Loewy und T. Cohn, Berlin. klin. Wochenschr. 1900, Nr. 34.
„ T. Cohn, ebenda.
„ Einthoven, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie, Bd. 82.
„ Hoorweg, ebenda, Bd. 83.
„ Kurella, Zeitschr. f. Elektrotherapie, Nr. 6.
1901. Derselbe, ebenda, Nr. 9.
„ Wertheim-Salomonson, ebenda.
„ Guilleminot, Archiv. d'élect. médicale, Maiheft.
„ Denoyès, ebenda, Februar- und Märzheft.
„ Bordier u. Lecomte, Comptes rendus de la Soc. de Biolog.
„ Denoyès, Martre u. Rouvière, ebenda.
„ Maragliano, Clinica medica italiana, 1901, Nr. 7.
„ Kindler, Fortschritte der Medizin, 1901, Nr. 13.

1902. Wertheim-Salomonson, Zeitschr. für Elektrotherapie, 1902, Nr. 10 u. 11.
„ Bordier u. Lecomte, Comptes rendus de l'Acad. de Soc., 30. Dez. 1902.
„ d'Arsonval, ebenda.
„ Stembo, Petersb. med. Wochenschr., Nr. 11.
1903. Freund, Wiener med. Presse, Nr. 18.
„ Berichte von der British Association (Herschell, Williamson u. a.); München. med. Wochenschr., Nr. 36.
1904. Bordier, Arch. d'élect. médicale.
„ Gay, Zeitschr. f. Elektrotherapie, Bd. 6, S. 285.
„ Fromme, Inaug.-Diss., Berlin 1904.
„ Moutier, Arch. d'élect. médicale, Nr. 150.
„ Popowa u. Schdanow, Wratsch 1904.
„ Strebel, Deutsche med. Wochenschr., 1904, Nr. 2.
„ Görl, München. med. Wochenschr., Nr. 14 u. 22.
1905. Allanc, Delherne u. Laquerrière, Comptes rendus de la Soc. de Biol.
„ Libotte u. Zimmern, Arch. d'électricité médicale, Nr. 171, 172.

Literatur über elektromagnetische Therapie.

1902. Beer, Wien. klin. Wochenschr., 1902, Nr. 4.
„ Lilienfeld, Therapie der Gegenwart, Sept. 1902.
„ Rodari, Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte, Nr. 4.
1902. W. Müller, Zeitschr. f. Elektrotherapie, Nr. 7 u. 8.
„ Eugen Konrad Mülller, ebenda, Nr. 11.
„ Frankenhäuser, Zeitschr. f. diätet. u. physikal. Therapie, Bd. 6, H. 1.
„ Maragliano, Gazetta degli ospedali, 1902, Nr. 132.
1903. Kalischer, Zeitschr. f. Elektrotherapie, Nr. 4.
„ Gottschalk, ebenda, Nr. 8.
„ Loewy u. Neumann, ebenda, Nr. 11.
„ Sarbo, Deutsche med. Wochenschr., Nr. 2.
„ Schrerk, Arch. f. diätet. u. physikal. Therapie, Jahrg. 1903.
1904. T. Cohn, München. med. Wochenschr., Nr. 33, S. 381.
„ Grenet, Arch. d'élect. médicale.
„ Lilienfeld, Berlin. klin. Wochenschr.
„ Lindemann, Therap. Monatsh., 1904, S. 571.
„ Schrerk an versch. Orten.
1905. Colombo, Zeitschr. f. phys. u. diät. Therapie, 1905.
„ A. Simon, Deutsche Ärzteztg., 1905.

Technik der Röntgenologie in der Praxis.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „Elektrizität und Licht in der Medizin“, veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Dr. **Max Levy-Dorn** in Berlin,

Leitender Arzt am Rudolf Virchow-Krankenhause.

Die Technik der Röntgenologie in der Praxis baut sich auf allgemeinen Maßnahmen und rein ärztlichen Übungen auf. Die allgemeinen Maßnahmen unterscheiden sich nicht von denen, die bei allen anderen auch nicht-ärztlichen röntgenologischen Untersuchungen vorgenommen werden müssen. Sie bestehen in dem Gebrauch des Röntgeninstrumentariums: Einer Vorrichtung, Ströme von hoher Spannung zu erzeugen; einer geeigneten Vakuumröhre, durch die diese Ströme hindurchgeschickt werden, einem Fluoreszenzschirm, auf dem die Röntgenbilder aufgefangen werden können, und einer photographischen Einrichtung, um die Fixierung der Röntgenbilder zu ermöglichen. Alle diese Dinge gehören zu jeder, auch der einfachsten Röntgeneinrichtung. Wir wollen uns nicht ausführlich darüber verbreiten, da Ihnen selbst Einzelheiten darüber genug bekannt sein werden, und wollen mehr auf Punkte der Röntgentechnik eingehen, die vor-

zugsweise ärztlichen Forderungen im Interesse der Kranken ihr Dasein verdanken. Es sei vorher nur hervorgehoben, daß außer den einfachen genannten Apparaten nach dem jetzigen Stande eine genügende Schutzvorrichtung für den Untersucher beansprucht werden muß. Die Schädigungen, welche die Röntgenstrahlen insbesondere an der Haut, dem Hoden, dem Lymphgewebe hervorzurufen imstande sind, müssen um so leichter eintreten, je häufiger man sich den Strahlen aussetzt. Der Kranke kommt daher meist in weit geringere Gefahr, als der Untersucher, welcher Tag für Tag in der Nachbarschaft der Röntgenröhre arbeitet.

Ich habe bald nach dem Bekanntwerden der ersten Schäden Schutzmaßregeln angegeben, deren Notwendigkeit leider erst sehr allmählich anerkannt wurde. Ich schloß die Röntgenröhre in einen Kasten, der eine Bleiblende trug. Durch die Öffnung derselben treten die Strahlen heraus, die zum Zustandekommen des Röntgenbildes benutzt werden sollten. Ich schlug zugleich vor, falls man mit dem Fluoreszensschirm arbeitet — sich also der Beobachter in die Bahn der Strahlen stellen muß —, eine dicke Spiegelglasscheibe auf den Schirm zu legen, welche die Strahlen des Fluoreszenzschirmes leicht hindurchläßt, aber den Röntgenstrahlen ein wesentliches Hindernis in den Weg legt und sie dadurch für den Beobachter unschädlich macht. An Stelle der Spiegelglasscheibe gebraucht man jetzt mit Recht lieber Bleiglas, da dasselbe einen größeren Schutz gewährleistet. Welches auch die Form der Schutzvorrichtungen sei, immer greifen sie auf dieselben Grundsätze zurück. Man nimmt für Röntgenstrahlen undurchlässige Materialien, welche je nach der Aufgabe des Untersuchers für gewöhnliches Licht durch- oder undurchlässig sein müssen. Von den undurchsichtigen Stoffen bewährten sich nichtleitende mit Bleioxyden, Bariumsalzen oder dergl. durchtränkte Massen, welche den elektrischen

Strom unvergleichlich schwerer leiten als das früher übliche Blei. Von den Formen, welche man den Schutzvorrichtungen gegeben, seien genannt: Schutzwände, abgeschlossene Schutzhütten, Schutzbekleidungen (Schürzen, Handschuhe, Brillen, Mützen, Schutzhüllen um das Rohr); ich ziehe heute noch den Schutzkasten vor, den ich durch ein geeignetes Stativ leicht in alle für den Röntgenbetrieb nötige Stellungen bringen kann. Außerdem befinden sich Einrichtungen daran, das tätige Röntgenrohr zu prüfen und die in der Praxis erforderlichen Blenden anzubringen.

Besondere Zwecke erfordern allerdings besondere Schutzvorrichtungen. Als Beispiel sei nur die Durchleuchtung der Patienten von unten her genannt, die zweckmäßig an einem geeigneten Schutztisch vorgenommen wird. Die Beschreibung aller hierhin gehörigen Apparate und deren Kritik würde zu weit führen. Gegen die zum Teil beliebten Schutzhütten läßt sich ins Feld führen, daß der längere Aufenthalt besonders mehrerer Personen darin Unannehmlichkeiten verursacht, daß sie nur einen kleinen Teil der Umgebung des Rohres schützen, und daß sie den Schutzkasten, oder eine ähnliche Einrichtung für Durchleuchtungen nicht überflüssig machen. Was die Dicke der angewandten Schutzstoffe betrifft, so bedenke man, daß ein vollständiger Abschluß von Röntgenstrahlen zum Schutz so wenig nötig erscheint, wie ein Abschluß von gewöhnlichen Lichtstrahlen, die ja auch nur im Übermaß Schaden bringen, in geringeren Mengen sogar nützen.

Die Fortschritte der letzten Jahre auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen beruhten im wesentlichen auf Ausbildung, Verbesserung des Röntgenrohres, Einführung von Blenden, des gleich zu beschreibenden Kompressionsverfahrens, aber auch dem Ausbau des Induktors und seiner Nebenapparate. Dazu kommen noch eine Reihe Untersuchungsmethoden, Aufnahmen im Atemstillstand, Stereoskopie, Orthodiagraphie, methodische Ver-

abfolgung großer, im Brei fein verteilter Wismutmengen, um den Magen-Darm-Traktus zur Anschauung zu bringen, Einführung von Sauerstoff in die Gelenke und anderes mehr.

Die Röntgenröhre wurde so ausgestaltet, daß sie erheblich länger als früher hintereinander in Betrieb gehalten werden kann, daß sie auch sonst länger hält und auf einmal größere Energiemengen auszusenden imstande ist.

Derjenige Teil des Rohres, der am meisten durch Erwärmung zu ertragen hat, die sogenannte Antikathode, wird jetzt aus dickeren Metallmassen, oder als Boden eines hohlen mit Wasser zu füllenden Gefäßes, Kühlrohr, hergestellt.

Das Volumen der Röhren ist größer geworden und dadurch die Gleichmäßigkeit des Vakuums besser gewährleistet. Die Regulierapparate wurden vervollkommnet, so daß es jetzt selbst möglich ist, den Röhren automatisch nach Bedarf Luft zuzuführen, indem derselbe elektrische Strom, der durch die Röntgenröhre geht, aus gewissen Substanzen der Reguliervorrichtung (Kohle, Glimmer) Luft abscheidet. Durch Zuführung von Luft wird nämlich die Röhre „weicher", d. h. die Durchdringungskraft der ausgesandten Strahlen, welche leicht von selbst zunimmt, wird vermindert.

Von anderen Regulierungen seien die durch Osmose und die mechanischen erwähnt. Die Osmose-Regulierung beruht auf der Eigenschaft des Platins und einiger Legierungen im glühenden Zustande Wasserstoff diffundieren zu lassen. Man schmilzt ein Stäbchen aus solchen Metallen in die Röntgenröhre ein, so daß sich das eine Ende des Stäbchens im Vakuum, das andere außerhalb der Röhre befindet. Bringt man daß äußere Ende durch eine Flamme zum Glühen, so geht wie man wenigstens allgemein annimmt aus dem beim Brennen sich bildenden Wassergas eine gewisse Menge durch das Platin ins Vakuum und verringert die „Härte" des Röntgenrohres.

Bei der mechanischen Regulierung wird mit

Hilfe eines durchlochten, oder mit einer kleinen Delle versehenen Hahnes der Röhre atmosphärische Luft zugetragen.

Der größeren Leistungsfähigkeit der Röntgenröhre entspricht eine Vervollkommnung des dieselbe erregenden Apparates. In der Praxis kommen dafür im wesentlichen Induktoren, seltener die Influenzmaschinen in Betracht. Die Influenzmaschine hat den Vorzug, keine besondere elektrische Kraftquelle zu gebrauchen; das Induktorium dagegen, das auf eine solche angewiesen ist, liefert uns kräftigere Ströme, und ermöglicht daher kürzere Expositionen.

Die größere Leistung des Induktors verdankt man der Einführung der sogenannten elektrolytischen Unterbrecher (Wehnelt, Simon). Der Unterbrechungsvorgang vollzieht sich in ihm automatisch, indem bei einer in verdünnte Schwefelsäure tauchenden Anodenspitze und sehr breiten Kathode dem Strom in der Flüssigkeit an einer Stelle, nämlich der Anode, ein sehr großer Widerstand entgegengesetzt wird; dadurch entsteht starke Erhitzung, eine Dampfwolke um die Anode, welche sie isoliert und den Strom unterbricht. Der Stromschluß stellt sich von selbst her, weil ein starker Öffnungsstrom die Dampfhülle durchdringt und kalte Flüssigkeit nachdrängt. Bei dem Simon'schen Flüssigkeits-Unterbrecher tauchen 2 breite Elektroden in voneinander getrennte, ebenfalls mit Schwefelsäure getränkte Zellen, die durch ein kleines Loch in der Zwischenwand verbunden sind. Die eben beschriebenen Vorgänge an der Anode spielen sich hier an der Öffnung der Zwischenwand ab. Der Induktor ist jetzt allgemein dem elektrolytischen Unterbrecher angepaßt (Walterschaltung). Der Hauptvorteil des elektrolytischen Unterbrechers besteht meines Erachtens darin, daß mit seiner Hilfe die größten Energiemengen bequem aus dem Induktor herausgeholt werden können.

Ähnliche, wenn auch nicht ganz so hohe

Leistungen, bringen die Quecksilberstrahlen-Unterbrecher zustande. In ihnen wird durch ein in Quecksilber tauchendes Rohr, das durch einen Motor schnell gedreht wird, ein Quecksilberstrahl erzeugt, der abwechselnd auf einen Metallring und durch seine Öffnungen hindurchgeht, so daß der Strom bei einer Umdrehung entsprechend häufig geöffnet und geschlossen wird. Der Betrieb mit dem Quecksilberunterbrecher ist im allgemeinen schonender und ökonomischer für das Rohr, als der mit dem elektrolytischen. Sein Gebrauch kann empfohlen werden, falls man auf kürzeste Expositionszeit verzichten will, was in der Praxis bei den meisten Fällen möglich ist.

Die Röntgenstrahlen haben die Eigentümlichkeit dort, wo sie auftreffen, Sekundärstrahlen zu erzeugen, die ähnliche Eigenschaften haben, wie sie selbst. Am meisten stören die Sekundärstrahlen, die sich an den mit Röntgenstrahlen zu untersuchenden Körperstellen selbst bilden, weil sie das Bild verschleiern. Man blendet daher heute soweit als möglich ab, und erhält dadurch in der Tat klarere Bilder als früher.

Es hat sich weiterhin herausgestellt, daß sich fast unmerkliche Bewegungen der darzustellenden lebenden Objekte weit häufiger einstellen, als man bisher geahnt, und das Bild verwischen. Unter den Mitteln, diesem Übelstand abzuhelfen, hat sich die Kompressionsblende (Albers-Schönberg) einen großen Ruf erworben; sie besteht aus einem Bleirohr und einer für dasselbe geeigneten Führung. Das Bleirohr wird auf die zu untersuchende Körperstelle gepreßt, die Röntgenröhre darüber gestellt, so daß eine vollkommene Blendenwirkung mit einer vorzüglichen Feststellung der zu untersuchenden Körpergegend vereint ist. Bei Untersuchungen des Abdomens kommt noch hinzu, daß man dadurch von dem abzubildenden Teil die störenden Gedärme abdrängt. Die Vorteile des Verfahrens lassen sich allerdings auch auf anderem Wege erreichen, so z. B., wenn man

einen aufgeblähten Gummiballon anpreßt und darüber Blenden bringt. Auch die Form der Albers-Schönberg'schen Blende selbst wurde mit Recht modifiziert.

Als einfaches Mittel, schwer zu lagernde Glieder festzustellen, sei noch die „Schlitzblende" von Robinsohn genannt. Eine gewöhnliche breite Binde, die so um das Glied herumgelegt wird, daß man das eine Ende durch einen Schlitz hindurchzieht und nunmehr beide Enden durch Gewichte beschwert.

Der Brustkorb kann nur dadurch scharf abgebildet werden, daß man meinem Vorschlage gemäß den Atemstillstand radiographiert. Man tut gut daran, wofern es der Gang der Untersuchung zuläßt, dafür das Stadium tiefer Inspiration zu wählen, weil bei größerer Luftfülle des Brustraums die Bilder kontrastreicher ausfallen.

Eine große Reihe Methoden sind mit Recht beschrieben worden, die mehr oder weniger genaue Lage innerer Körperteile mittels Röntgenstrahlen zu bestimmen; denn das einfache Röntgenbild dehnt sich nur in zwei Dimensionen aus und entbehrt einer brauchbaren Plastik. Auch die neuerdings empfohlenen plastischen Bilder stellen von diesem Gesichtspunkte aus keinen Fortschritt dar, da ihr körperlicher Eindruck sich nur auf Perspektive und Schlagschatten gründet, die Perspektive der Röntgenbilder aber nicht genau derjenigen gewöhnlicher Lichtbilder entspricht und daher auch nicht gleiche Folgerungen zuläßt. Dagegen sind wir imstande, durch stereoskopische Röntgenbilder jenem Übelstande einigermaßen abzuhelfen.

Unter dem Namen Orthodiagraphie, Orthoröntgenographie usw. verstehen wir ein Verfahren, Umrisse von im Röntgenbilde erscheinenden Objekten in paralleler und zur Zeichenfläche senkrechter Projektion zu erhalten, während das gewöhnliche Röntgenbild (in zentraler Projektion) die Organe vergrößert und mehr verzerrt wieder-

gibt. Orthodiagraphen usw. sind Apparate, die gestatten, den genannten Zweck bequem zu erreichen.

Den Einblick in die einzelnen Gelenke kann man sich jetzt wesentlich verbessern, wenn man Sauerstoffgas vor der Untersuchung in dieselben injiziert (Robinsohn, Bernsdorff). Das Verfahren hat sich im wesentlichen nur für die Untersuchung des Kniegelenks bewährt.

Zu Untersuchungen von Hohlorganen wurden schon in der ersten Ära nach Entdeckung der Röntgenstrahlen für dieselben undurchgängige Substanzen benutzt, indem man die Hohlorgane mit ihnen anfüllte. In den letzten Jahren wurden mit großem Erfolge zur Untersuchung des Magendarmkanals sehr bedeutende Mengen Wismut verabreicht. Es war unter anderem dadurch möglich Karzinome des Magens sowie chronische Stenose des Darms festzustellen (Rieder, Holzknecht).

Auch das Studium der Röntgenbilder erfordert eine besondere Technik, wenn es die rechten Früchte tragen soll. Diese Technik hat für den praktischen Arzt die größte Bedeutung. Das Röntgenbild erscheint zuerst als Negativ auf der photographischen Platte. Meist werden wohl heute noch Reproduktionen desselben betrachtet. Sei es, daß es sich um Projektionsbilder für Demonstrationen in großen Versammlungen, oder daß es sich um Papierabdrücke handelt. Alle Reproduktionen pflegen weniger Details zu zeigen als das Originalnegativ.

Die Abdrücke in Zeitschriften zeigen oft so wenig, daß der Leser umsonst das Beschriebene im beigegebenen Bilde sucht. Das Beste leistet hier noch das „Kilometerverfahren", d. h. die photographische Übertragung der Bilder auf lange Bromsilberstreifen, das aber wegen seiner hohen Kosten nur selten angewandt wird. In der Regel tun die Autoren gut daran, für Bilder mit nicht kräftigen Kontrasten Zeichnungen anfertigen zu lassen und diese zu reproduzieren.

Selbst auf Diapositiven gehen oft Feinheiten verloren, wenn sie vergrößert durch das Skioptikon an die Wand geworfen werden. Es ist daher von großer Wichtigkeit, sich mit den Methoden zu befreunden, durch die man das Negativ am besten betrachtet.

Direkt gegen das Licht gehalten, können selbst die besten Bilder bei nicht genügender Dichtigkeit mangelhaft erscheinen. Man halte in solchen Fällen die photographischen Platten gegen eine Milchglasscheibe (z. B. Lampenglocke), oder schräg gegen weißes, möglichst kräftig beleuchtetes Papier. Am schönsten aber erscheinen die Feinheiten des Negativs, wenn man es an einen Leuchtkasten mit abdämpfbarem Licht stellt und im Dunkeln betrachtet. Wir dürfen nie vergessen, daß die Beurteilung der Negative einige Übung erfordert, da ja gewöhnlich unserem Auge nur die Positive geboten werden. Ganz besonders verwirrend wirkt es, wenn bei Demonstrationen, wie es gelegentlich geschieht, Positive und Negative durcheinander gezeigt werden, ohne daß ein Wort des Redners in jedem Falle auf den Charakter der Bildform aufmerksam macht.

Die Grundlage für die Verwertung der Röntgenbilder bei Krankheiten bildet eine genaue Kenntnis der Röntgenbilder normaler Zustände. Die verschiedenen Entwicklungsstadien des Menschen, wie die Varietäten, welche noch im Bereiche des Normalen liegen, müssen ebenso bekannt sein, wie die Bilder des erwachsenen Durchschnittsmenschen. Bedenkt man fernerhin, daß die Bilder recht verschieden ausfallen, falls man die Körpergegenden in verschiedenen Richtungen durchstrahlt, so versteht man, daß eine Unsumme von Röntgenschatten bekannt sein muß, um sich in allen Verhältnissen ein vollgültiges Urteil bilden zu können. Man hat daher durch Auswahl typischer Durchleuchtungsrichtungen die röntgologischen Aufgaben zu erleichtern gesucht.

Weitere Hilfsmittel, sich unter den Röntgenschatten zurecht zu finden, sind geeignete Vergleiche, z. B. der gesunden mit der kranken Seite, der verschiedenen Wachstumsperioden eines Tumors u. a. m.

In der Technik der Röntgentherapie spielt die Hauptrolle die richtige Dosierung der Röntgenstrahlen. Ich verweise hier auf meine in der „Zeitschrift für ärztliche Fortbildung" (1906 Nr. 14) darüber mitgeteilten Ansichten. Daneben kann der Schutz der gesunden Körperteile, die schwer zugängliche Lage des Krankheitsherdes u. a. m. (Prostata, Portio vaginalis) besondere Schwierigkeiten verursachen; doch haben diese Dinge geringeres Interesse für den praktischen Arzt und würden, wie vieles, was ich in dieser Mitteilung überging, ohne die den Vortrag begleitenden Demonstrationen oder reichen Bilderschmuck schwer verständlich sein.

Über den gegenwärtigen Stand der Röntgendiagnostik bei inneren Erkrankungen.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „Elektrizität und Licht in der Medizin", veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Prof. Dr. **E. Grunmach** in Berlin,

Direktor des Universitätsinstituts für Untersuchungen mit Röntgenstrahlen.

M. H.! Ursprünglich sollten die Röntgenstrahlen nur im Bereich der Chirurgie von Nutzen für die Diagnostik sein, und doch konnte schon wenige Monate nach Röntgens Entdeckung der neuen Strahlenart ihr hoher diagnostischer Wert auch für die innere Medizin festgestellt werden.

Denn bereits damals ließ sich zur Erkennung bestimmter Leiden des Herzens und der Brustaorta, sowie der Lungen und Pleuren die Überlegenheit der Röntgenstrahlen gegenüber den alten Untersuchungsmitteln von mir nachweisen.

Sie wissen ja, daß diese Strahlen die wunderbare Eigenschaft besitzen, einerseits fluoreszierende Substanzen zum Aufleuchten zu bringen und die photographische Platte chemisch wirksam zu beeinflussen, andererseits für gewöhnliches Licht sonst undurchdringbare Körper je nach ihrem Atomgewicht mehr oder weniger durchsichtig zu machen.

Aber gerade der Brustraum bietet infolge seiner Zusammensetzung aus mehr oder minder lufthaltigen und luftleeren Organen, je nach dem Gehalt an flüssigen und festen Bestandteilen ein sehr günstiges, natürliches Verhalten zur Differenzierung der einzelnen Organschatten im Röntgengebilde. Daher wurden auch die ersten diagnostischen Erfolge der X-Strahlen in der inneren Medizin gerade bei den Erkrankungen der Brustorgane erzielt.

Schwieriger als im Bereich des Thorax gestaltete sich jedoch früher die Röntgenuntersuchung der Bauchorgane, besonders zur Lage- und Grenzenbestimmung des Magens, da hier wegen zu geringer Schattenunterschiede gegenüber den anliegenden Weichteilen erst künstliche Steigerungen der Kontraste durch Aufhellung oder Abdunkelung der Magenkonturen zu erzeugen waren. Trotzdem gelang es mir im Jahre 1896 nach gemeinschaftlich mit Réné du Bois-Reymond angestellten Versuchen durch Luftzufuhr in den Magen diesen so stark aufzuhellen, daß sich dessen Lage und Form auf dem Fluoreszenzschirm deutlich erkennen, sowie aus den Röntgenbildern bestimmte diagnostische Schlüsse ziehen ließen. Später gewann man jedoch kontrastreichere Schirmbilder und Aktinogramme von Hohlorganen durch Abdunkelung derselben mittels eingeführter Bismutmischung z. B. zum Nachweis von Divertikeln der Speiseröhre, sowie zur Feststellung der Magen- und Darmkonturen. Insbesondere vermochte Rieder nach Zufuhr großer Bismutmassen in den Magen- und Darmkanal durch die Aktinographie desselben die Diagnostik bedeutend zu fördern.

Wie Ihnen bekannt ist, pflegt man die Röntgenuntersuchung entweder mittels des Fluoreszenzschirms oder der photographischen Platte auszuführen, und die eine Methode als Röntgenoskopie, die andere als Röntgenographie zu bezeichnen. Beide Arten der Untersuchung unterstützen sich

gegenseitig, die Schattenbilder auf dem Fluoreszenzschirm können durch die Röntgenogramme bestätigt und diese durch wiederholtes Beobachten auf dem Schirm zumal bei Bewegungserscheinungen kontrolliert werden. Es sei hier jedoch gleich wie vor 12 Jahren von mir betont, daß zur Diagnostik in der inneren Medizin die Beobachtungen auf dem Fluoreszenzschirm die Hauptrolle spielen, und daß sich wichtige Symptome bestimmter innerer Leiden besonders der Brustorgane schon allein mittels dieses Schirmes feststellen lassen. Zur Vermeidung von Fehlerquellen empfiehlt es sich diese Organe nicht allein im Sagittal-, sondern auch im Diagonal- und Querdurchmesser auf dem Fluoreszenzschirm zu beobachten, sodann nach Feststellung des Leidens die in verschiedenen Richtungen gewonnenen Röntgenbilder entweder auf Glasplatten vor dem Leuchtschirm oder von diesen auf Papier zu zeichnen, oder aber auch noch zum Vergleich Röntgenogramme von den affizierten Körperteilen aufzunehmen. Handelt es sich indessen um genaue Lokalisation von tief gelegenen Erkrankungsherden innerer Organe z. B. um Ortsbestimmung zentraler Lungengangrän, dann muß nach den Beobachtungen auf dem Schirm außer der einfachen auch noch die stereoskopische Röntgenographie verwertet werden.

Als Hauptbedingung zur exakten Untersuchung mittels X-Strahlen gilt natürlich die Anwendung von Präzisionsapparaten, welche die genaueste Einstellung des Haupt- oder Fokalstrahls zum Untersuchungsobjekt bei beliebiger Lage und Stellung der Versuchsperson gestatten. Bisher bewährte sich für die Diagnostik in der inneren Medizin mein in dieser Zeitschrift (Jahrgang 1905 Nr. 9) bereits beschriebener Präzisionsapparat, der mit Blendenvorrichtung und einer tiefdunkelblau fluoreszierenden Röntgenröhre in Verbindung steht. Dieselbe wirkt auf das be-

obachtende Auge viel angenehmer als alle grün fluoreszierenden Röhren und läßt auch die Kontraste auf dem Fluoreszenzschirm gerade bei inneren Organen besonders scharf hervortreten. Außer diesem Vakuumapparat wurden zur Diagnostik in neuerer Zeit auch noch die Tantalröhren von mir verwendet, deren Antikathoden aus Tantal hergestellt einen viel höheren Schmelzpunkt als Platin besitzen und daher selbst im Vakuum nur äußerst wenig zerstäuben.

Wenn auch diese Röhren sich durch hohe Vakuumkonstanz auszeichneten, so hatten sie doch wegen der Rotglut der Antikathode im Betriebe den Nachteil, auf das beobachtende Auge am Fluoreszenzschirm gerade beim Nachweis innerer Leiden zeitweise störend zu wirken. Dieser Übelstand ließ sich aber später durch Verstärkung des Tantals und Anwendung blau fluoreszierenden Glases vermeiden. Hier sei noch betont, daß mit unseren erprobten Induktoren, Unterbrechern und Vakuumröhren scharfe Moment-Aufnahmen erzielt wurden.

Kehren wir nun nach kurzer Betrachtung der Röntgenapparate wieder zu den Anwendungsmethoden der Röntgenstrahlen und zwar bei der Magenuntersuchung zurück, so verwertete Rieder dazu besonders photographische Platten und Films, während ich mich, wie schon in den ersten Versuchen mit Réné du Bois-Reymond so auch später, hauptsächlich des Fluoreszenzschirms zur Diagnostik bediente, nachdem der Magen vorher entweder mit Luft oder Bismutmischung angefüllt worden war. Ferner galt als Regel zur Sicherung der Diagnose ebenso wie bei den Brustorganen den künstlich aufgehellten oder abgedunkelten Magen in verschiedenen Durchmessern sowie bei verschiedener Stellung und Haltung der Versuchsperson auf dem Fluoreszenzschirm bezüglich seiner Lage, Form und Ausdehnung sowie der sonstigen Eigenschaften zu beobachten,

um nach genauer Prüfung auf dem Leuchtschirm die Diagnose zu stellen und dann von diesem auf Glas oder Papier das Röntgenbild aufzunehmen. Da jedoch noch immer Zweifel über die Normalform und Lage des Magens zu bestehen scheinen, so möchte ich auch hier gleich auf Grund zahlreicher Röntgenversuche an gesunden Kindern und Erwachsenen hervorheben, daß man überhaupt nicht nur eine Normalform und Lage anzunehmen, sondern verschiedene Zwischenstufen noch als Normalformen des Magens aufzufassen und unter diesen die senkrechte Stellung mit aufsteigendem Pylorusteil als die am häufigsten nachweisbare anzusehen habe. Diese Ansicht über die variable Normalform und Lage vertrat ich auch bereits vor Jahren in der Berliner medizinischen Gesellschaft und wiedersprach dort entschieden der Wiener Auffassung, wonach der Normalmagen die Querlage einhalten und die Form eines Widderhorns mit am tiefsten stehenden Pylorus darstellen solle. Erst später bei den Erkrankungen des Digestionsapparats werden Ihnen im Gegensatz zu den normalen die abnormen Röntgenbefunde geschildert, sowie dabei die diagnostischen Resultate erläutert werden.

Vorher wollen wir zunächst mit der Röntgenuntersuchung des Zirkulationsapparats und zwar mit der Lage- und Grenzenbestimmung des Herzens beginnen, wobei sich die Röntgenstrahlen unseren früheren Untersuchungsmethoden durchaus überlegen zeigten. Zu diesem Zwecke kann man nämlich sowohl die Aktinoskopie als auch die Aktinographie heranziehen. Wenn auch schon das gewöhnliche Schirmbild und Aktinogramm auf die wirkliche Herzgröße schließen läßt, vorausgesetzt, daß die Brustaufnahmen nicht in zu kleinem Abstande von der Röhre gemacht werden, so entspricht doch im allgemeinen das so gewonnene Schattenbild des Herzens nicht genau den Herzgrenzen selbst, da bekanntlich die

X-Strahlen divergieren und dadurch die Schattenfigur größer als den zu projizierenden Gegenstand erscheinen lassen. Dagegen können wir sogar selbst die *wirklichen* Herzgrenzen dann erhalten, wenn die Durchstrahlungsbilder und Aktinogramme mindestens *in einer Entfernung von 2,60 Meter zur Antikathode des Vakuumrohrs* mit vorzüglichem Röntgenapparat bei genauester Einstellung der Versuchsperson gewonnen werden. Daher spricht man jetzt auch von *Fern-* oder *Teleröntgenographie*. Außer diesem Verfahren besitzen wir weiter noch eine andere exakte Methode zur genauen Grenzenbestimmung des Herzens bei Anwendung der *Parallel-* statt der *Zentralprojektion* und zwar mit Hilfe solcher Vorrichtungen, bei denen die Röntgenröhre mit dem Zeichenstift in starre Verbindung gebracht und bei Verschiebung desselben die Röhre stets um das gleiche Stück verschoben wird. Auf diese Weise kann man gewissermaßen den zu messenden Gegenstand mit ein und demselben Strahl, der als Tangente an das zu projizierende Objekt stets parallel zu sich selbst bewegt wird, umtasten, während der an seinem Endpunkt gelegene Zeichenstift durch den Fluoreszenzschirm auf die Körperoberfläche oder auf Karton eine den Grenzen des zu messenden Gegenstandes entsprechende Silhouette in Form von Punkten zeichnet. Lehrreich ausgeführt wurde dieses Meßverfahren, dessen sich verschiedene Autoren in primitiver Weise bedienten, zuerst von Prof. *Moritz* mittels seines für Horizontallage der Versuchsperson konstruierten Orthodiagraphen. Aber trotz seiner Vorzüge bot dieser Apparat doch, wegen der unbequemen Lage für Lungen- und Herzkranke, ferner auch wegen des Mangels der notwendigen Einstellvorrichtung für den Thorax gewisse Nachteile. Daher wurde vor Jahren zur Herzuntersuchung ein neuer Meß- und Zeichenapparat von mir hergestellt, der bei beliebiger Haltung der Versuchsperson, hauptsächlich

bei aufrechter, aber auch bei horizontaler und zwar bei absolut sicherer Einstellung des Thorax durch fixierbare Pelotten sowie bei gleichzeitiger Markierung der oberen Rippen und des Zwerchfellstandes Anwendung fand. Von den Hauptresultaten dieser Herzuntersuchungen soll hier jedoch gleich erwähnt werden, daß mit Rücksicht auf die verschiedene Wertschätzung der absoluten gegenüber der relativen Herzdämpfung die nach der Perkussion aufgezeichneten Figuren mit Bleidrähten auf der Brust fixiert und darauf im Sagittaldurchmesser bei derselben Einstellung der Versuchspersonen mit den aktinoskopischen Herzbildgrenzen verglichen wurden. Dabei stellte sich in der Mehrzahl der Fälle der geringe diagnostische Wert der absoluten Herzdämpfung zur Schätzung der wirklichen Herzgrenzen heraus, während in einem hohen Prozentsatz der Krankheitsfälle die Figuren der relativen Dämpfung den aktinoskopischen Herzbildern sehr nahe kamen, ohne sie jedoch an Zuverlässigkeit zu erreichen. Zum Vergleich mit abnormen Herzmaßen seien hier die Mittelwerte bei mittelgroßen, gesunden Männern von ca. 168—172 cm Körperlänge, während aufrechter Stellung und ruhiger Atmung bei der Diastole aus zahlreichen Messungen angegeben, und zwar für die Hauptlängsdurchmesser 13,5 cm für den Hauptquerdurchmesser 10,5 cm, für den größten Herzabstand links von der Mittellinie 8,6 cm und für denselben rechts davon 4,4 cm. In ähnlicher Weise wie auf Karton kann man auch auf die photographische Platte mittels stark abgeblendeter Strahlenbündel am Orthodiagraphen die Herzsilhouette gewinnen, doch wäre der Punktiermethode auf Karton bei scharf beobachtenden Auge unter den von mir angegebenen Kautelen zur Herzmessung entschieden der Vorzug zu geben.

Mittels der Röntgenstrahlen lassen sich also leicht die wirklichen von den scheinbaren Ver-

größerungen und Verkleinerungen des Herzens unterscheiden, aber auch weiter genau die Lageverhältnisse desselben zu den benachbarten Organen bestimmen, endlich noch die Leistungen des Herzens je nach der In- und Extensität sowie der Frequenz und dem Rhythmus der Kontraktionen beurteilen. — Wie für die Brustorgane so fand mein Meß- und Zeichenapparat auch zur exakten Untersuchung des Abdomens ganz besonders zur Lage und Grenzenbestimmung des Magens z. B. nach Zufuhr von Luft oder Bismutbrei erfolgreiche Verwendung.

Wenn Prof. Moritz in seiner Arbeit: „Über die Methoden der Herzuntersuchung" in der Deutschen Klinik behauptet, daß über die Beeinflussung von Herzdilatationen durch therapeutische Maßnahmen wie Digitalis, kohlensaure Bäder noch kaum orthodiagraphische Nachweise vorliegen, so möchte ich doch auf meine gemeinschaftlich mit Kollegen Brieger an zahlreichen Herzkranken ausgeführten Untersuchungen über die aktinoskopische Herzmessung bei Anwendung gewisser Heilmittel insbesondere der Hydrotherapie hinweisen, deren Ergebnisse in der Deutschen medizinischen Wochenschrift mitgeteilt wurden. Von diesen Resultaten sei hier nur kurz erwähnt, daß durch geeignete Wasserkuren zwar die Herzfunktion und das subjektive Befinden der Kranken gebessert, aber durch keine Art von Hydrotherapie, auch nicht durch Kohlensäure- wie Wechselstrombäder unter Kontrolle der X-Strahlen die ausgeprägte Herzdilatation zur Verkleinerung gebracht, während bei den betreffenden Krankheitsfällen diese günstige Wirkung auf die Herzerweiterung nach mehrmaliger Anwendung von Digitalis mit Morphium erzielt wurde. Aus diesen Erfahrungen läßt sich also die Lehre ziehen, Herzkranke mit Kompensationsstörungen nicht ausschließlich mit Hydrotherapie trotz ihrer Vorzüge, wie sie jetzt empfohlen wird,

sondern stets in Verbindung mit unseren längst erprobten Herzmitteln zu behandeln.

Betrachten wir nun weiter die pathologischen Thoraxbilder, so läßt sich natürlich leicht mittels der X-Strahlen aus dem Vergleich mit dem Normalbilde bezüglich der Herzverlagerungen die zweifelhafte Dextrocardia congenita ohne Transposition der übrigen Organe von den erworbenen Herzverschiebungen nach rechts durch Lungen- und Pleuraleiden, sowie von den gewöhnlichen Fällen der Dextrocardia congenita mit Situs viscerum inversus unterscheiden. Ebenso wie bei diesen Herzverlagerungen konnte ich auch bei anderen kongenitalen Herzfehlern, und zwar bei einigen Fällen von Offenbleiben des Ductus arteriosus Botalli erst mittels der Röntgenstrahlen aus der eigentümlichen Form und Bewegung des Schattenbildes die Diagnose sicher stellen. Aber auch auf Septumdefekte bei angeborener Pulmonalstenose ließ sich neben den übrigen Symptomen aus den eigenartigen, stark transversalen Bewegungen des Herzschattens am Fluoreszenzschirm mit Wahrscheinlichkeit schließen, da solche Bewegungsformen bei intaktem Septum nicht beobachtet werden. Von diagnostischem Werte erwiesen sich dann noch bei bestimmten Herzklappenfehlern, außer den durch die Dilatation einzelner Herzabschnitte bedingten Vergrößerungen der Schattenbilder zunächst bei der Tricuspidalinsuffizienz die Ausbuchtung und die mit der Ventrikelsystole stark hervortretende Pulsation des rechten Atriumschattens, ferner bei der Mitralinsuffizienz die Ausweitung und das auffällig lebhafte systolische Pulsieren des linken Vorhofschattens, endlich bei der Insuffizienz der Aortenklappen die im ersten Interkostalraum links außen sichtbare, starke systolische Anschwellung des

Arkusschattens. Man kann aber auch nach Einführung von Gummiballon tragenden Schlundsonden in die Speiseröhre unter Kontrolle des Fluoreszenzschirms die Herzbewegung insbesondere die Vorhofs- und Ventrikelsystole sowie Diastole in Form von Kardiogrammen registrieren und aus denselben Klappenfehler z. B. Mitralinsuffizienz diagnostizieren, wie dieses Verfahren zuerst von Minkowski zur Herzdiagnostik verwertet wurde. Im Durchstrahlungsbilde sowie im Aktinogramm verriet sich dann noch bei ausgeprägten Fällen die Pericarditis exsudativa durch die mit der Spitze noch oben gerichtete Dreiecksform des vergrößerten Herzschattens und ließ sich von anderen Herzleiden sowie Veränderungen des Mediastinums anschaulich unterscheiden.

Alsdann wären hier unter den Erkrankungen der großen Gefäße besonders die der Brustaorta hervorzuheben, die wohl das dankbarste und wichtigste Gebiet für die Röntgendiagnostik in der inneren Medizin darstellen. Schon kurze Zeit nach Entdeckung der X-Strahlen konnten verschiedene Arcusaneurysmen, die mit den früher üblichen Methoden nicht nachweisbar waren, im Durchstrahlungsbilde von mir erkannt und durch die Sektion bestätigt werden. An sechs Aktinogrammen sehen Sie hier (Demonstration) solche Bogenaneurysmen, die deshalb schwer zu diagnostizieren waren, da sie sich besonders nach rechts hin ausgebreitet aber weder abnorme Pulsation noch Geräusche dargeboten hatten. Von den Mediastinaltumoren und anderen Neubildungen im Thoraxinneren kann man die Bogenaneurysmen der Aorta dadurch unterscheiden, daß dieselben bei der Durchstrahlung in den verschiedenen Durchmessern abnorm vergrößerte, abgerundete, mit scharfen Konturen versehene nach verschiedenen Richtungen systolisch pulsierende Schattenbilder als Fortsetzung des Herzschattens darstellen. Von diesen Aneurysmen lassen sich die Mediastinaltumoren und

sonstige Neubildungen im Thorax gewöhnlich durch ihre unregelmäßige Form und Ausdehnung sowie durch die verschieden starke Schattenbildung, je nach der Zusammensetzung und Dicke des Tumors, ferner durch den häufigen Mangel scharf abgerundeter Konturen, endlich durch die eigentümliche Art der fortgeleiteten Pulsation (stoßweise) unterscheiden. Die Annahme, daß auffällige Verschiebungen der Trachea nur bei Substernaltumoren und nicht bei Aneurysmen oder umgekehrt gefunden werden, ist durchaus unbegründet, da bei beiden Erkrankungsformen solche Verschiebungen der Trachea besonders nach rechts, allerdings häufiger bei Tumoren, in den Durchstrahlungsbildern und Aktinogrammen sich deutlich nachweisen ließen. Außer den Aneurysmen der Aorta thoracica konnten auch solche der Aorta abdominalis, ferner noch einige der Arteria anonyma sowohl allein, als auch verbunden mit denen der Brustaorta mittels der Röntgenstrahlen erkannt werden. Im Anschluß daran verdienten hier gleichfalls die nicht fühlbaren Verkalkungen der peripherischen Gefäße, besonders der Arteria tibialis postica erwähnt zu werden, wie solche Veränderungen sich beim intermittierenden Hinken feststellen ließen.

Gehen wir nun zu den Erkrankungen des Respirationsapparates über, so gelang es zunächst Veränderungen in der Nasenhöhle sowie im Bereich der Nebenhöhlen, ferner bezüglich des Larynx außer Tumoren innerhalb desselben z. B. Enchondromen, in zahlreichen, zweifelhaften Fällen von Stimmbandlähmung als Ursache derselben bald Geschwulstbildungen im oberen Brustteil, bald Aneurysmen des Aortenbogens mittels der X-Strahlen sicher zu erkennen, während diese Veränderungen mit den alten Methoden bestimmt nicht nachweisbar waren. Ebenso ergab sich als ursächliches Moment von Tracheal- und Bronchostenosen entweder ein

substernaler Tumor oder Aneurysma z. B. bei Kindern persistierende Thymus, sowie als einseitige Bronchostenose die inspiratorische Verschiebung des Mediastinalschattens nach der stenosierten Seite hin.

Bezüglich der Lungenleiden verdienten hier zunächst die Leistungen der X-Strahlen zum Nachweis zentral gelegener, durch die alten Hilfsmittel nicht sicher erkennbarer Verdichtungsherde hervorgehoben zu werden.

Besonders wertvoll erwies sich zur Lokalisation von mehr oder weniger zentral liegender Lungengangrän oder Abszeßbildung das neue Untersuchungsverfahren in Verbindung mit der stereoskopischen Röntgenographie. Ferner lassen sich natürlich außer der leicht sichtbaren Erweiterung des aufgehellten Lungenbezirks beim Emphysem durch die Röntgenstrahlen auch die übrigen Lungenveränderungen deutlich erkennen, gleichviel ob es sich um einfache Funktionsstörungen, z. B. ungleiche inspiratorische Aufhellung der Lungenspitzen, oder um pneumonische Infiltrate oder tuberkulöse Herde, sowie Infarkte und Verkalkungen oder auch um Hohlräume (Kavernen, Bronchektasien) oder endlich noch um Neubildungen, z. B. Sarkom, Echinokokkus der Lunge handelte. Sehr häufig ließen sich bei der Lungenuntersuchung besonders an tuberkuloseverdächtigen Kranken vom Hilus ausgehende, die Bronchial- und Gefäßverzweigungen begleitende Schattenfiguren verfolgen, ebenso die Hiluspartien als Ausgangsstellen der Pneumonien nachweisen, aber auch im Bereich der Hilusdrüsen Verkalkungen und Tumoren als tiefdunkle Schatten im Gegensatz zu dem gewöhnlich helleren Hilusbilde erkennen. Anzuschließen wäre hier der äußerst seltene Röntgenbefund von deutlich sichtbaren, erbsengroßen Bronchialsteinen in abgedunkelten Lungenpartien bei einer an

Tuberkulose und sog. Steinhusten leidenden Patientin.

In zahlreichen Fällen von Phthisis incipiens fiel bei einseitiger Spitzenaffektion während tiefer Inspiration die geringe Aufhellung oberhalb der Clavicula, sowie der abnorme Hochstand des Zwerchfells gegenüber der Normallage bei der Exspiration auf. Dies letztere Verhalten wurde jedoch auch bei der Pleuritis sicca auf der erkrankten Seite beobachtet. Es sei jedoch hervorgehoben, daß nach Untersuchungen an vielen Hunderten zweifelhafter Lungenkranker in 80 Proz. der Fälle aus dem Befunde allein mittels der Durchstrahlung und Röntgenographie der Lungenspitzen sowie der Hilusdrüsen die Diagnose auf Frühtuberkulose gestellt werden konnte, die erst nach Wochen durch den Nachweis der Tuberkelbazillen im Sputum bestätigt wurde.

In instruktiver Weise lassen sich natürlich die Lageverhältnisse und Bewegungen des Zwerchfells im Röntgenbilde unter normalen und pathologischen Bedingungen studieren, z. B. der Tiefstand beim Emphysem und Pleuraexsudat, sowie der Hochstand bei stark geblähtem Magenfundus oder Tumoren im Abdomen. Daran würden sich die unregelmäßigen Zwerchfellbewegungen schließen, wie sie durch Verwachsungen des Diaphragmas einerseits mit dem Lungen- und Pleuragewebe, andererseits mit dem Herzbeutel zustande kommen. Man erkannte aber auch im Röntgenbilde einseitige Zwerchfellslähmung durch Tumorbildung im Bereich der Lungen und Pleura, ferner Zwerchfellhernien, sowie Schädigungen der Elastizität des Diaphragmas in Form von rudimentärer Eventration an dem dauernden Hochstand des Fündus ventriculi, endlich subphrenische Abszesse an zirkumskripten Ausstülpungen der Zwerchfellkuppe nach oben.

Unter den Pleuraleiden erscheint abgesehen

von Ergüssen, Schwartenbildungen, Bindegewebssträngen und Tumoren in besonderer Schärfe auf dem Fluoreszenzschirm der Sero- und Pyopneumothorax, bei dem man nämlich statt des gewöhnlichen Lungenbildes die durch den Pleurainhalt komprimierte Lunge als dunklen Schatten nahe dem Herzen zusammengepreßt erkennen und an deren Stelle außer der Aufhellung des Pleuraraumes ein charakteristisches Schattenbild des Flüssigkeitsergusses mit horizontaler Oberfläche und Wellenbewegung bei Erschütterung des Körpers deutlich beobachten kann.

Betrachten wir weiter den Digestionsapparat, so verdienten zunächst die diagnostischen Erfolge der Röntgenstrahlen bei der Untersuchung der Zähne sowie zum sicheren Nachweis von verschluckten Fremdkörpern im Ösophagus, Magen und Darm hervorgehoben zu werden. Aber auch zur Feststellung von Tumoren, Stenosen, Erweiterungen und Divertikeln der Speiseröhre, insbesondere von idiopathischer Dilatation derselben bewährte sich die Überlegenheit der Durchstrahlung und zwar in den diagonalen Durchmessern nach Einführung von Bismutmischung gegenüber den alten Untersuchungsmitteln. Ebenso leicht konnte man mittels der X-Strahlen den hysterischen Cardiospasmus von der organischen Stenose unterscheiden. Ferner ließ sich, wie bereits oben erwähnt wurde, die Lage und Größe des Magens durch Zufuhr von Luft oder Bismutbrei auf dem Fluoreszenzschirm genau bestimmen und dabei auch die normale sowie abnorme Peristaltik beobachten. Es sei hier jedoch gleich betont, daß man aus gewissen Veränderungen dieser Peristaltik allein noch nicht berechtigt ist, auf beginnendes Magenkarzinom maßgebende Schlüsse zu ziehen. Wohl kann man im allgemeinen mittels der Röntgenstrahlen Pylorusstenosen diagnostizieren, wenn mit Bismut gefüllte, in den

Magen eingeführte Kapseln noch nach 24 Stunden und darüber deutlich im Magen neben abnormer Peristaltik auf dem Fluoreszenzschirm nachweisbar sind, aber über die Natur der Stenose, ob diese etwa karzinomatös sei, dürften doch noch immer starke Zweifel bestehen. So fand sich im Gegenteil bei 95 an Pylorusstenose operierten Arbeitern, die von meinem ältesten Röntgenschüler Dr. Johnson in Stockholm vor der Operation mittels X-Strahlen wochenlang in der vorher angegebenen Weise untersucht wurden, nur 6mal Karzinom, während in den übrigen Fällen Stenosen von so gutartiger Natur festgestellt wurden, daß die daran operierten Patienten noch nach Jahren vollständig arbeitsfähig blieben. Es ließen sich aber auch in mehreren Fällen durch die Palpation nicht nachweisbare Karzinome, die von der kleinen oder großen Kurvatur in das Innere des Magens hineinwuchsen, auf dem Fluoreszenzschirm von mir nachweisen. In diesen Fällen konnte man nämlich nach Anfüllung des Magens mit Bismutmilch oder dünnem Bismutbrei stalaktitenartige Schattenfiguren auf dem Fluoreszenzschirm beobachten, während sonst der normale Magen nach Aufnahme von Bismutmilch bald darauf seinen Inhalt bei bekannter Peristaltik zu entleeren pflegt. Wir sahen ferner noch auf dem Leuchtschirm und in Aktinogrammen mit den Nachbarorganen verwachsene Magentumoren als tiefdunkele Schattenbilder, die jedoch mit den alten Untersuchungsmethoden nicht sicher zu erkennen waren. Abgesehen von den Pylorusstenosen und Tumoren des Magens zeigten sich die Röntgenstrahlen von hohem diagnostischen Werte zur Bestimmung von Verlagerungen sowie Erweiterungen desselben, und zwar der sogenannten Gastroptose allein oder in Verbindung mit Ektasia ventriculi. Ebenso ließen sich gewisse Formveränderungen z. B. der Sanduhrmagen deutlich erkennen, aber auch die motorische

Funktion des Magens und Darms nach Bismutzufuhr unter normalen und pathologischen Bedingungen, z. B. nach verheilter Gastroenterostomie während der Verdauung im Röntgenbilde genau kontrollieren. Als bemerkenswert wäre hier noch ein infolge starker Verengerung des Magens nach der Nahrungsaufnahme auftretendes Asthma gastricum zu erwähnen, das ausführlich an anderer Stelle beschrieben werden soll. Aus der folgenden Demonstration der verschiedenen bei Luft- und Bismutzufuhr am Fluoreszenzschirm beobachteten Magenbilder dürften Sie deutlich ihr normales und pathologisches Verhalten ersehen. Wie für den Magen erwiesen sich auch für den Darmkanal nach Einführung von Bismutbrei die Röntgenstrahlen als diagnostisch wertvoll zur Feststellung von Strikturen und Dilatationen der einzelnen Darmabschnitte sowie zum Nachweis der Enteroptose, wobei sich die Dickdarm- von den Dünndarmschlingen durch die scharf ausgeprägten Haustra im Röntgenbilde deutlich unterschieden. Ebenso konnten Neubildungen und Verlagerungen der Leber, sowie äußerst selten auch Gallensteine in derselben mittels der X-Strahlen zur Anschauung gebracht werden.

In betreff des Harnapparates wäre hier noch anzuführen, daß außer Steinbildungen auch Nierentumoren und zwar Pyo- und Hydronephrose sowie Tuberkulose und Echinokokkus aus den abnormen Schattenbildungen in der Nierengegend und auf Grund der übrigen Krankheitssymptome auf dem Röntgenbilde nachgewiesen, sowie später durch die Operation bestätigt wurden.

Trotz der eifrigen Empfehlungen von Kompressionsblenden zur Untersuchung der Nieren, kann bei Tumoren derselben, besonders bei Verdacht auf Eiterung in den Nieren nicht dringend genug vor Anwendung der Kompression gewarnt

werden, da in bestimmten Fällen, die ohne Kompression untersucht wurden, die erkrankte Niere so prall mit Eiter gefüllt bei der Operation angetroffen wurde, daß durch Kompression bei der vorhergegangenen Aktinographie die Perforation wohl unvermeidlich gewesen wäre.

Gehen wir nun zum Zentralnervenapparat und zwar gleich zur Untersuchung des Kopfes über, so wäre hier zunächst die abnorme Schädelbildung bei der Akromegalie hervorzuheben, bei der außer der stark hervorspringenden Kinn- und Stirnform, sowie der mächtigen Protuberantia occipitalis im Röntgenbilde besonders die bedeutende Erweiterung der Frontalsinus und der Sella turcica auffällt; außerdem erkennt man bei der Akromegalie an den Extremitäten Vergrößerungen und Verdickungen der Metakarpal- und Metatarsalknochen mit Verbreiterung der dazu gehörigen Gelenkspalten sowie Exostosen an den Hand- und Fußphalangen, im Gegensatz zu den Veränderungen bei der sogenannten Osteoarthropathie hypertrophiante pneumique. Alsdann spielt im Bereich des Schädelinhalts die Feststellung von Hirngeschwülsten eine wichtige Rolle. Durch Röntgenogramme wird man die Diagnose auf Tumor cerebri nur dann sichern können, wenn sich neben den übrigen dafür sprechenden Zeichen die Geschwulst aus schwer zu durchstrahlenden also etwa kalkhaltigen Massen zusammensetzt, wie dies mir vor Jahren in einem zweifelhaften Falle von Gehirntumor, der von der Glandula pinealis ausging, nachzuweisen möglich war. Alsdann sei hier betont, daß auch auf Gehirntumoren im Bereich der Hypophysis aus der im Röntgenbilde sichtbaren Destruktion der Sella turcica mit Schwund der Sattelfortsätze geschlossen werden kann. Außer diesen Neubildungen gelang es aber auch auf das Gehirn sich erstreckende,

von den Augen- und Highmorshöhle ausgehende Geschwülste mittels der Röntgenstrahlen zur Anschauung zu bringen.

Bezüglich der Wirbelerkrankungen ergab sich aus den in Gemeinschaft mit Herrn v. Leyden ausgeführten Röntgenversuchen, daß das Bestehen einer solchen Krankheit jetzt mit viel größerer Sicherheit in bezug auf den Sitz sowie auf die Natur des pathologischen Prozesses erkennbar ist, als dies bisher der Fall war. So konnten durch die X-Strahlen unter den Wirbelerkrankungen Spondylitis tuberculosa, Spondylarthritis ossificans, ankylosierende Spondylitis, metastatische Tumoren sowie Frakturen und Subluxationen der Wirbel, Osteoarthropathie, Osteoporose und Halisteresis außer den angeborenen Wirbelleiden nachgewiesen werden. Ferner führten die Versuche an primären Markerkrankungen zu dem Ergebnis, daß ein negativer Röntgenbefund die Abwesenheit einer Wirbelaffektion und beim Bestehen einer myelitischen Lähmung, deren Unabhängigkeit von einer Wirbelerkrankung wahrscheinlich macht. Sodann zeigten sich in sämtlichen Fällen von einigermaßen umfangreichen Meningitiden, Myelitiden und Perimyelitiden gewisse Strukturveränderungen, nämlich Aufhellungen der Wirbelspongiosa ausgeprägt, die nach Vergleich mit normalen Wirbeln gleichaltriger Individuen als Osteoporose aufzufassen sind. Diese Strukturveränderung betraf nicht nur die Wirbelsäule, sondern auch das unterhalb der Läsionsstelle gelegene Knochensystem. Unter den chronischen Rückenmarksleiden wurde die Knochenatrophie der Wirbelsäule und des übrigen Skelettsystems besonders deutlich bei vorgeschrittenen Fällen der Tabes dorsalis gefunden. Von traumatischen Erkrankungen ermöglichte die Aktinographie Callusmassen um die frakturierten Stellen, ferner Dislokationen der Wirbelkörper der Quer- und Dornfort-

sätze sowie Veränderungen der Spongiosastruktur zu sehen, die der früheren Diagnose nicht zugänglich waren.

Knochenatrophie an den Extremitäten beobachtete man auch bei der Syringomyelie, der multiplen Sklerose und der progressiven Muskelatrophie. Bei der Tabes dorsalis findet sich aber noch besonders im Bereich der Gelenke öfters Hypertrophie der Knochensubstanz, sowie als seltenes Frühsymptom im Röntgenbilde der sog. Pied tabetique, der im wesentlichen darin besteht, daß von den Fußwurzelknochen die median gelegenen hypertrophische, dagegen die lateral befindlichen atrophische Knochenveränderungen zeigen.

Betrachtet man nun weiter nach diesen Ergebnissen der Röntgenforschung die übrigen Gelenk- und Knochenleiden sowie die Störungen der Knochenbildung, so ließ sich durch die X-Strahlen aus dem verspäteten Auftreten der Knochenkerne in der Handwurzel das Myxödem sowie aus dem eigentümlich verzögerten Verknöcherungsprozeß, die Rachitis erkennen. Daher kann man z. B. bei hochgradiger, rachitischer Veränderung der Unterarmknochen die Corticalis abnorm verdünnt mit breitmaschigem Bälkchennetz, sowie die Diaphysenenden kelchförmig verbreitert und mit zackiger Knochenknorpelgrenze ausgestattet sehen.

Ferner ergaben sich als Zeichen der Tuberkulose durch Caries bedingte Aufhellungen mit Substanzverlusten oder Auflockerungen und Verbreiterungen der affizierten Knochenteile neben undeutlichen mit schwachen Schatten erfüllten Gelenkspalten. Dagegen ließen sich bei der Lues die hyperostotischen mit den erweichenden Prozessen kombiniert, die Gummata aus den umschriebenen Knochendefekten sowie bei der kon-

genitalen Syphilis die Osteochondritis aus dem abnorm verschiedenartigen Verknöcherungsprozeß in der Epi- und Diaphysis erkennen.

Ebenso gelang es, die Sarkomatis der Röhrenknochen aus der Abblätterung und Zerstörung des Periosts mit unregelmäßiger Verbreiterung der Diaphyse sowie die Gicht durch Ablagerung von harnsauren Salzen im Röntgenbilde als helle Auftreibungen an den affizierten Knochenteilen nachzuweisen. Bei der Osteomalazie erreicht die abnorme Aufhellung des ganzen Knochengerüstes den höchsten Grad, so daß von Struktur im Röntgenbilde nur wenig zu sehen ist. Bezüglich der Gelenkleiden wäre hier noch anzuschließen die Arthritis chronica deformans, bei der mehr oder weniger stark ausgeprägte Knochenwucherungen und Substanzverluste an den Gelenkteilen im Aktinogramm gefunden wurden. Alsdann verdienten von Knochenneubildungen allgemeiner Natur auch die Myositis ossificans und Exostosis luxurians erwähnt, sowie als diagnostisch wichtige mittels der Röntgenstrahlen sichtbare Abnormität die überzählige Halsrippe hervorgehoben zu werden, da man diese häufiger als Ursache ausstrahlender Schmerzen im Röntgenbilde nachwies, als sie bisher nach den alten Methoden erkannt wurde. Ebenso ließen sich Neuralgien in anderen diagnostisch unklaren Fällen als Folgen von Exostosen und Hyperostosen sowohl im Bereich des Schädels als auch der Wirbelsäule und Extremitäten durch das Röntgenogramm deutlich erkennen, in ähnlicher Weise, wie bekanntlich auch die Interkostalneuralgien häufig auf Mediastinaltumoren sowie Aortenaneurysmen nach dem Röntgenbilde sicher zurückzuführen waren. Mittels der X-Strahlen stellten sich aber auch als Ursache für peripherische Lähmungen bestimmte Knochen und Gelenkleiden (Frakturen

und Luxationen) an den Extremitäten heraus, ebenso wie bei den vasomotorisch-trophischen Neurosen gewisse Knochenveränderungen besonders atrophischer Natur erst durch das Röntgenbild deutlich sichtbar wurden.

M. H.! Überblicken Sie die geschilderten, bis jetzt gewonnenen Ergebnisse der Röntgenforschung in Verbindung mit den zahlreichen hier demonstrierten Aktinogrammen, so erscheint Ihnen doch wohl dadurch der Nachweis erbracht, daß abgesehen von der Chirurgie auch auf dem Gesamtgebiete der inneren Medizin die Röntgenstrahlen wichtige diagnostische Erfolge aufzuweisen haben.

Das Röntgenverfahren in der Chirurgie.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „Elektrizität und Licht in der Medizin“, veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Prof. Dr. **Albers-Schönberg** in Hamburg.

Im Mittelpunkt des Interesses steht noch immer die Dosierungsfrage. Sie ist indessen ebensowenig durch die bisher erschienenen Veröffentlichungen, wie durch die Vorträge auf dem Kongreß gelöst worden. Das Quantimeter von Kienböck scheint geeignet zu sein, eine Dosierung des Röntgenverfahrens zu ermöglichen. Die große Genauigkeit und Empfindlichkeit dieses Instrumentes sind ein Vorteil, welcher den Nachteil der Umständlichkeit seiner Anwendung aufwiegt. Auch Schmidt und Levy-Dorn haben sich an der Hand eines großen Materials mit der Dosierungsfrage beschäftigt. Die neueste Methode auf dem Gebiete der Dosierung ist die Fällungsmethode von Schwarz. Sie beruht im Prinzip auf der Eigenschaft der Röntgenstrahlen, aus einer Lösung von Sublimat und Ammoniumoxalat Kalomel auszuscheiden. Es bleibt abzuwarten, ob diese erst vor kurzem publizierte Technik einen praktischen Nutzen gewähren wird.

In Ermangelung einer zuverlässigen und leicht einführbaren mechanischen Dosierung, gehe ich seit Jahren auch bei der therapeuti-

schen Anwendung empirisch nach den von mir für die Röntgenographie erprobten Grundsätzen vor. Für Bestrahlungen von Hautaffektionen, bei welchen eine Oberflächenwirkung erwünscht ist, verwende ich eine sog. „Handröhre", d. h. eine Röhre, welche bei 35 cm Fokus-Plattendistanz und 15—20 Sek. Exposition ein scharf durchgearbeitetes, gut gedecktes Röntgenogramm der Hand eines Erwachsenen gibt. Selbstverständlich muß die Röhre ihren Härtegrad während der Dauer der Bestrahlung möglichst konstant innehalten, was durch stets gleichbleibende Belastung, bei Wahl der richtigen Selbstinduktion und Stiftlänge des Wehnelt, erzielt werden kann. Die Fokus-Hautdistanz ist im Durchschnitt stets die gleiche, kann aber nach Bedarf vergrößert oder verkleinert werden, wodurch die Wirkung verstärkt oder abgeschwächt wird. Die Dauer jeder Einzelsitzung bemesse ich auf 6 Minuten und verabfolge bei 30—35 cm Fokus-Hautdistanz durchschnittlich sechs, bei näherem Abstand von 29 cm vier solcher Sitzungen. Nach etwa 10 bis 14 Tagen Pause wird, wenn erforderlich, eine zweite solche Serie gegeben und so fort, je nach Bedarf. Soll eine mehr in die Tiefe gehende Wirkung erzielt werden z. B. bei der Bestrahlung von Tumoren, bei der Leukämiebehandlung und anderen Affektionen, so wähle ich eine Röhrenqualität, wie sie bei der Untersuchung des Hüftgelenkes verwendet wird und gute Strukturbilder gibt.

In engem Zusammenhang mit der Dosierungsfrage steht die therapeutische Anwendung der Röntgenstrahlen, um so mehr als die Erfolge und Mißerfolge in Zukunft durch eine geeignete Methode die Strahlenmenge zu messen, bedingt sein werden. Über die Behandlung der Hautkrankheiten, einschließlich des Lupus, braucht an dieser Stelle nicht gesprochen zu werden, da inzwischen keine neue Gesichtspunkte aufgestellt worden sind. Dagegen ist von der Röntgen-

therapie der Hautkarzinome und Hautsarkome einiges Neue und zwar Erfreuliches zu berichten. Es unterliegt wohl keinem Zweifel mehr, daß die Hautcancroide, sowie das Ulcus rodens vermittels der Röntgenbestrahlung schnell und sicher zur Heilung gebracht werden können. Eine große Anzahl von Publikationen, es sollen bereits nach dem Referat von Schiff 16—1800

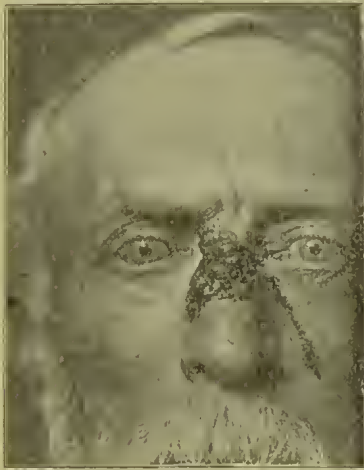


Fig. 1. Vor der Behandlung.

mit Röntgenstrahlen behandelte Fälle von Hautkrebsen in der Weltliteratur niedergelegt sein, berichtet übereinstimmend in diesem günstigen Sinne. Auch auf dem Röntgenkongreß wurde von Rosenberg über Erfolge berichtet. Lassar, der über ein großes Material von ca. 700 Fällen verfügt, steht auf dem Standpunkte, die Röntgentherapie der Hautkrebse, auch wenn es sich um ausgedehnte Fälle handelt, zur Anwendung zu bringen. Im gleichen Sinne äußert sich Löser, gestützt auf seine Erfahrungen am städtischen Krankenhaus in Frankfurt a. M., sowie viele andere Autoren.

Der Wert der Röntgenbestrahlung bei oberflächlichen Hautkankroiden und Hautsarkomen sei an der Hand einiger Fälle gezeigt. Ich führe Ihnen als Beispiel die Bilder (Fig. 1 u. 2) eines am 16. Okt. 1906 im ärztlichen Verein in Hamburg vorgestellten 65 jährigen Mannes vor, bei welchem sich ein umfangreiches Kankroid rechts oben am Nasenrücken innerhalb 4 Jahren entwickelt hatte. Bisher war eine rationelle Therapie nicht eingeleitet worden, infolgedessen die Geschwulst an Größe sehr zugenommen hatte. Die Behandlung mit Röntgenstrahlen führte innerhalb kurzer Zeit die vollständige Heilung unter Bildung einer zarten Narbe herbei. Patient erhielt 46 Einzelsitzungen à 6 Minuten, im ganzen 276 Minuten Bestrahlung. Die Fokushautdistanz war stets die gleiche und



Fig. 2. Nach der Behandlung.

betrug 29 cm. Es wurde eine mittelweiche (W 5) Müllersche Wasserkühlröhre benutzt und diese so stark belastet, wie es für Hand- und Fußaufnahmen erforderlich ist. Zwischen die einzelnen Sitzungen wurden stets längere Pausen von 6 bis 14 Tagen eingeschaltet. Hierdurch gelang es, eine kosmetisch vorzügliche Heilung herbeizuführen, ohne daß es während der ganzen Zeit der Bestrahlung zu einer Reaktion gekommen wäre.[1])

Wesentlich ungünstigere Aussichten bietet die Bestrahlung tiefsitzender Karzinome.

[1]) Während der Drucklegung ist ein weiterer Fall (Fig. 3 u. 4) von Kankroid der Schläfenhaut, fertig geworden. Patient erhielt im ganzen 22 Einzelsitzungen à 6 Minuten. Im ganzen 132 Minuten Bestrahlung. Fokusdistanz 29 cm, mittelweiche Röhre. Eine Reaktion trat nicht ein. Juni 1908 noch völlig rezidivfrei.

Man erreicht mit der Röntgenbestrahlung in den meisten Fällen keine Heilung. Dagegen wird fast einstimmig berichtet, daß die Schmerzen gebessert und

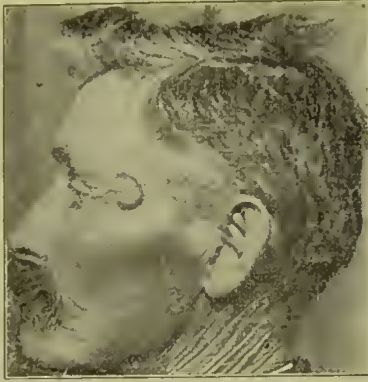


Fig. 3. Vor der Behandlung.

die Sekretion und Jauchung unter der Bestrahlung geringer geworden sei. Es gilt dieses namentlich für die inoperablen Mammakarzinome. Die prophy-



Fig. 4. Nach der Behandlung.

laktische Bestrahlung operierter Mammakarzinome scheint sich zu bewähren, indessen ist das Material zurzeit noch nicht groß genug, um zu einer bestimmten Ansicht hierüber zu kommen.

Günstige Resultate werden auch von sarkomatösen Geschwülsten der Haut berichtet. Eine große Arbeit von Kienböck umfaßt so ziemlich alle bisher mit Röntgenstrahlen behan-



Fig. 5. Vor der Behandlung.

delten Sarkome, sowie die Technik der anzuwendenden Therapie. Auch Ref. konnte sich an mehreren Fällen von der eminenten Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Hautsarkome überzeugen.

Ich berichte hier über einen Patienten (Fig. 5 u. 6), der von mir wegen einer großen sarkomatösen Geschwulst der Haut oberhalb der Lendenwirbelgegend therapeutisch bestrahlt wurde. Die Geschwulst war annähernd handtellergroß. Zwei größere Partien waren geschwürig zerfallen und bildeten einen Krater mit wallartigen Rändern. Auch unter der gesunden Haut waren Knoten deutlich fühlbar. Ein zur mikroskopischen Untersuchung herausgeschnittenes Stück wurde untersucht und ergab ein kleinzelliges Rundzellensarkom. Patient wurde im



Fig. 6. Nach der Behandlung.

ganzen 44 Minuten bestrahlt. An drei Tagen je 6 Minuten bei 30 cm Fokushautabstand, hierauf vier Tage Pause und dann abermals an drei Tagen je 6 Minuten bei 30 cm Abstand, wiederum Pause von 12 Tagen, hierauf zwei Bestrahlungen von je 4 Minuten. Es wurde eine mittelweiche Müllersche Wasserkühlröhre, wie man sie für Knieaufnahmen zu benutzen pflegt, gebraucht. Eine Reaktion trat nicht ein, jedoch bräunte sich die Haut im Bezirk der bestrahlten Partien sehr stark. Die Ulzerationen heilten während der Bestrahlung außerordentlich schnell ab, so daß Patient nach Vollendung der Kur als vollständig geheilt entlassen werden konnte. An Stelle der

früheren Geschwüre hatten sich glatte weiße Narben gebildet. Die wallartigen Ränder der ehemaligen Ulzerationen waren noch durch besonders tiefe Pigmentierung gekennzeichnet. Auch die unterhalb der Haut gelegenen Knoten waren vollkommen zum Schwund gebracht.

Dieser Fall wurde 1906 von mir in Nr. 1 des Zentralblatt für Chirurgie publiziert und ist bis Januar 1907 rezidivfrei geblieben. Ein sich zu dieser Zeit entwickelnder neuer Knoten befindet sich z. Z. wieder mit Aussicht auf Erfolg in Behandlung.

Ich berichte dann über einen zweiten Patienten, welchen ich gelegentlich des 1. Röntgenkongresses 1905 vorstellte. Es handelte sich um ausgedehnte Tumoren oben auf dem Kopf und besonders über dem rechten Ohr; von letzteren nahm einer schließlich die Größe eines Apfels an. Die Probeexzision ergab ein kleinzelliges Rundzellensarkom. Ein operativer Eingriff war nicht mehr möglich. Patient erhielt in 28 Sitzungen à 6 Minuten im ganzen 168 Minuten Bestrahlung bei einer Fokushautdistanz von 36 cm mit mittelweicher Röhre. Zu einer Reaktion kam es nicht. Die Tumoren verschwanden vollständig, so daß Patient als geheilt entlassen werden konnte (cf. ausführliche Publikation uud Bilder in Bd. I der Verhandlungen der deutschen Röntgengesellschaft S. 168). Patient blieb von Dezember 1904 bis Sommer 1906 rezidivfrei. Alsdann trat über dem rechten Ohr ein unbedeutendes Rezidiv ein, welches z. Z. wieder in Behandlung genommen und im Verschwinden ist. Die Kopfhaut ist im übrigen völlig gesund geblieben.

Tiefliegende Sarkome lassen sich ebensowenig durch Bestrahlung heilen wie tiefliegende Karzinome.

Die neuerdings in Angriff genommene Behandlung der Struma hat leider auch nur eine geringe Anzahl von günstigen Resultaten gezeitigt. Während Pfeiffer, auf 51 Fälle der Tübinger chirurgischen Klinik gestützt, die Röntgentherapie der Struma ablehnt, wurde auf dem Röntgenkongreß derselben etwas mehr Vertrauen entgegengebracht. Eine Erleichterung der Beschwerden ist jedenfalls in vielen, Heilung nur in wenigen Fällen zu erzielen. Die Parenchymstrumen sind für die Bestrahlungstherapie die günstigsten. Verkalkte, cystische und fibröse Strumen reagieren nicht, die Basedow-Strumen reagieren bisweilen.

Der jüngste Zweig der Röntgentherapie ist die Prostatabehandlung. Auch hier ist das An-

fangsstadium das zur Behandlung geeignetste. Die Publikationen, besonders die von Moskowitz und Stegmann, lauten günstig. Die Drüse wird unter der Bestrahlung kleiner, wodurch eine Erleichterung des Urinierens stattfindet. Zwischenfälle infolge von Resorption von Drüsenzerfallsprodukten sind in einzelnen Fällen beobachtet, aber schnell wieder gebessert worden. Die genannten Autoren, denen Verf. sich anschließen möchte, geben ihr Urteil dahin ab, daß die bisherigen Erfolge und die Gefahrlosigkeit der Methode eine ausgedehnte Anwendung derselben empfehlen. Die Applikation der Bestrahlung ist technisch schwierig, da die Strahlen durch ein in den Mastdarm eingeführtes Spekulum auf die Prostata gerichtet werden müssen.

In engem Zusammenhange mit der therapeutischen Anwendung der Röntgenstrahlen steht die Untersuchung der Wirkung der Strahlen auf tierisches Gewebe im allgemeinen. Eine große Arbeit von Krause und Ziegler beschäftigt sich mit diesem Gegenstand. Die Autoren ziehen aus ihren Arbeiten den Schluß, daß die Einwirkung der Röntgenstrahlen im wesentlichen sich auf lymphatisches Gewebe erstreckt, welches zerstört und durch Bindegewebe ersetzt wird.

Die Verpflichtung der Ärzte zum Selbstschutz und zum Schutz ihrer Patienten ergibt sich hieraus von selbst. Die anfänglich vielfach als übertrieben erachteten, namentlich vom Verf. empfohlenen umfangreichen Schutzmaßregeln finden immer mehr Aufnahme im Kreise der Röntgenologen, so daß bald kein Institut ohne Schutzvorrichtungen arbeiten wird. Wie weit man in ihrer Anwendung gehen will, bleibt jedem einzelnen überlassen. Namentlich in solchen Instituten, in welchen viel gearbeitet wird, dürfte ein minutiöser Schutz für Ärzte und Personal unerläßlich sein. Es genügt

nicht sich gegen die direkten Strahlen zu decken, auch die Sekundärstrahlen müssen vom menschlichen Körper abgehalten werden. Dieser Ansicht schließt sich neuerdings auch Butcher an. Die Röntgenschädigungen und ihre rechtlichen Konsequenzen, sowie die Haftpflicht der Krankenhausdirektoren gegenüber ihren Assistenten behandelt Kirchberg in zwei ausführlichen Arbeiten. Er kommt zu dem Schluß, daß die Röntgendiagnostik und -Therapie unter allen Umständen nur vom Arzt und zwar vom spezialistisch gebildeten Arzte gehandhabt werden dürfe, daß ferner alle durch die Erfahrungstatsachen bedingten Schutzmaßregeln unbedingt und stetig anzuwenden seien. Die Aufklärung über die möglichen Schädigungen sind beim Dienstantritt neuer Assistenten Pflicht der Direktoren, ebenso die Besorgung und Herrichtung aller nötigen Schutzvorrichtungen nach dem heutigen Stande der Wissenschaft. Ist diesen beiden Forderungen Genüge geleistet, so werden nach Kirchberg keine Haftungsansprüche gestellt werden können. Zu ähnlichen Resultaten ist die Académie de Médecine in Paris gekommen. In ausgedehnter Diskussion wurde ein Antrag von Chauffard verhandelt, der die Anwendung der Röntgenstrahlen nur dem Arzt reserviert wissen will, und einstimmig angenommen.

Es ist schließlich auf eine Arbeit hinzuweisen, welche sich mit der Einwirkung der Strahlen auf Tiere befaßt. Schilling beobachtete nämlich, daß infolge Bestrahlung von Hühnereiern die ausgeschlüpften Jungen Pigmentanomalien zeigten.

Die chirurgische Diagnostik hat in den letzten Monaten einige wesentliche technische Fortschritte gemacht. Schon im vorigen Jahr wurde von Drüner auf dem ersten Röntgenkongreß eine Methode zur stereoskopischen Fremdkörperbestimmung angegeben. Letztere ist inzwischen von ihrem Autor soweit

ausgearbeitet und verbessert worden, daß die Apparate bald im Handel erscheinen werden. Der Vorteil, welchen der stereoskopische Fremdkörpernachweis gegenüber den alten, meist mühselig auszuübenden Meßmethoden gewährt, ist ein außerordentlich großer. Es ist ein künstlerischer Genuß, ein stereoskopisches Röntgenbild zu betrachten und allmählich die verschiedenen Tiefen, sei es an den Gelenken oder am Schädel, zu erkennen. Schon vor Jahren sind stereoskopische Aufnahmen von Levy-Dorn, Hildebrandt u. a. gemacht worden. Man hat indessen früher stets verkleinerte Diapositive mittels der bekannten amerikanischen Stereoskope betrachtet, da es nicht möglich war, Stereoskope für die Originalgrößen der Aufnahmen herzustellen. Es ist selbstverständlich, daß durch die Verkleinerung manche Einzelheiten, die das Bild in natürlicher Größe gewährt, verschwinden. Als ein Fortschritt ist es deshalb zu betrachen, daß wir zurzeit über Stereoskope (Walter, Bartholdy, Drüner) verfügen, welche uns gestatten, die Originalstereogramme zu betrachten. In eiligen Fällen kann man sogar die noch feuchten Platten in das Stereoskop einsetzen, was dann, wenn es sich um schnelle Fremdkörperlokalisation handelt, von größter Bedeutung ist.

Die stereoskopischen Röntgenaufnahmen haben sich als äußerst wertvolle Bereicherung der Röntgentechnik erwiesen. Nicht jeder ist imstande, sofort den stereoskopischen Effekt voll wahrzunehmen. Es gehört ebenso wie zur Benutzung des Mikroskops Übung zur richtigen Anwendung des Stereoskops. Hat man diese Übung erlangt, so wird man bei jeder geeigneten Gelegenheit die Stereoskoptechnik heranziehen, da sie wie keine andere Methode uns einen klaren Einblick in die normalen und pathologischen Skelettverhältnisse gibt. Bei den stereoskopisch aufgenommenen Frakturen gewinnt man ein deutliches Bild von

der Stellung der Bruchenden zueinander. Die Luxationen, besonders diejenigen im Ellenbogengelenk, namentlich dann, wenn sie mit Absprengungen vereinigt sind, eignen sich besonders für die Stereoskoptechnik, denn auf gewöhnlichen Flächenbildern ist die Deutung einer Ellenbogenluxation oder Ellenbogengelenkfraktur, namentlich im Kindesalter, oft mit großen Schwierigkeiten verbunden. Das Stereoskopbild dagegen zeigt dem Geübten sofort die Verhältnisse in so klarer und übersichtlicher Weise, daß eine Verwechslung, beispielsweise der Epiphysen und Bruchlinien nicht leicht zustande kommen dürfte. Auch die Differenzierung der am kindlichen Ellenbogengelenk so zahlreich vorhandenen Knochenkerne von etwaigen Absprengungen wird durch die vorbeschriebene Technik ermöglicht. Die vielen durcheinander laufenden schwer zu deutenden Linien, welche das normale oder pathologische Schädelröntgenogramm aufweist, gruppieren sich im Stereoskopbilde zu plastischen Eindrücken, was namentlich bei Untersuchungen der Augenhöhle oder der Kiefer, Zähne usw. von Bedeutung ist. Daß ebenfalls die angeborene Hüftluxation von dieser Methode Nutzen gezogen hat, braucht kaum erwähnt zu werden. Auch stereoskopische Thoraxbilder sind neuerdings von Köhler veröffentlicht worden. Man kann ferner mittels der Stereoskopie in wirksamer Weise feststellen, ob Jodoformglyzerininjektionen wirklich den Krankheitsherd erreicht haben oder nicht. Das Jodoformglyzerin gibt deutliche Schatten, so daß es wie ein metallener Fremdkörper wirkt und somit eine leichte Aufnahme gewährleistet.

Von Robinsohn und Werndorff wurde im Jahre 1905 die Einblasung von Sauerstoff in erkrankte Gelenke zur besseren Darstellung von Veränderungen in der Kapsel oder dgl. empfohlen. Die anfangs umständliche Methode hat dann Wollenberg durch Konstruktion eines genial erdachten Sauerstoff-Einblasungsapparates

außerordentlich vereinfacht. Der Sauerstoff, welcher in den gewöhnlichen im Handel erhältlichen Bomben verkauft wird, enthält meist Verunreinigungen und zwar wesentlich durch die Beimengung von Stickstoff (ca. 2 Proz.). Für die Injektion in Gelenke ist es nun aber erforderlich, daß der Sauerstoff in chemisch reinem Zustande injiziert wird. Dieses erreicht Wollenberg durch seinen Apparat, welcher sich dadurch auszeichnet, daß in einem geschlossenen Gefäße Sauerstoff durch Katalyse von chemisch reinem Wasserstoffsuperoxyd entwickelt wird. Der Sauerstoff, welcher unter dem Druck von $^1/_2$—1 Atmosphäre durch eine Injektionsnadel in das Gelenk eingeblasen wird, bläht das letztere vollständig auf, so daß auf dem Röntgenbilde die Gelenkkapsel, der Gelenkspalt, ferner die Recessus, der Meniscus usw. deutlich zutage treten. Nach den neuerdings vorliegenden Veröffentlichungen gestaltet sich diese Einblasung von Sauerstoff in das Gelenk leider nicht immer gefahrlos für den Patienten. Nach etwa 24 Stunden verschwindet das Gas durch Resorption aus dem Gelenk. Hoffa hat vor kurzem eine Publikation erscheinen lassen, welche an größerem Material verschiedene Kniegelenkserkrankungen vorführt. Die freien Gelenkkörper, die sich auf gewöhnlichen Röntgenbildern nur selten unter besonders günstigen Umständen markieren, zeigen sich bei Anwendung von Sauerstoff als scharf umschriebene Körper. Meniscusverletzungen, die sich ebenfalls bislang dem Röntgennachweise entzogen, kann man in einem unter Sauerstoffeinblasung hergestellten Röntgenbilde diagnostizieren. Chronische Gelenkveränderungen, Verdickungen der Synovialis, sowie Wucherungen, Verödungen des Gelenkraumes, beginnende Arthritis, Synovialtuberkulose u. a. m. sind Erkrankungen, die nunmehr der Diagnose mittels des Röntgenverfahrens zugänglich gemacht worden sind. Ob auch andere Gelenke dieser

Methode unterzogen werden können, muß einstweilen dahingestellt bleiben. Vielleicht wird sie sie sich für das Schultergelenk oder auch für das Ellenbogengelenk nutzbar machen lassen.

Die Lungenchirurgie zieht neuerdings gleichfalls oft aus der Röntgentechnik Vorteile. Während man früher durch Probepunktionen Herde in der Lunge mit Mühe suchen mußte, gelingt es jetzt mittels einfacher Durchleuchtung in verschiedenen Ebenen einen Lungenherd so genau zu lokalisieren, daß auf denselben mit Erfolg chirurgisch eingegangen werden kann. In dieses Gebiet gehört auch die Lokalisation und Diagnose von Lungentumoren.

Die Kenntnis der normalen Magenform ist durch die Röntgenuntersuchungen wesentlich gefördert. Es gibt eine Rieder'sche und eine Holzknecht'sche Form, ferner die durch das geblähte Querkolon bedingte Simmond'sche Form. Bei letzterer geht infolge Hochdrängen des Querkolon die sog. Hubhöhe im Röntgenbild verloren, auch kann die große Kurvatur durch Wismut nicht sichtbar gemacht werden, da die vordere Magenwand und nicht die große Kurvatur den Bauchdecken anliegt. Ist dieses, meist bei Kindern auftretende Phänomen, die Blähung des Querkolon, nicht vorhanden, so kann selbstverständlich die große Kurvatur durch Wismut markiert werden.

Die Untersuchung des Magens und Darms mittels der Röntgenmethode nach Einführung von wismuthaltiger Nahrung ist schon vor Jahren von verschiedenen Forschern, Boas, Levy-Dorn, Becher, Rosenfeld, Grunmach, Stegmann u. a. in Angriff genommen worden. Rieder hat dann zuerst systematisch in dieser Richtung gearbeitet, und durch seine Publikationen angeregt, widmeten sich Holzknecht und seine Mitarbeiter intensiv dieser Technik. Das Resultat ihrer Arbeiten finden wir in einer ausführlichen

Publikation [1]) niedergelegt. Die Motilität, Form und Größe des Magens, seine Lage, die Peristaltik, die Austreibungszeit der Speisen, die Wirkung der Massage, der Sanduhrmagen und das Magengeschwür eignen sich für die Röntgendiagnostik. Das letztere wird wohl nur in seltenen Fällen zur Beobachtung auf dem Schirm kommen. Wismut kann bisweilen lange, sogar tagelang auf dem ulcus haften, wovon sich Ref. in einem Falle überzeugen konnte. Die raumbeengenden Tumoren lassen sich als solche erkennen und zwar dann, wenn sich das Wismut in Buchten der Geschwulst festsetzt. Auch wo dieses nicht der Fall ist, läßt sich aus dem Verhalten der wismuthaltigen Nahrung im Magen ein Schluß auf raumbeschränkende Tumoren unter Umständen ziehen. Es bedarf noch einer weiteren Ausbildung der Röntgendiagnostik der Magenerkrankungen und namentlich einer größeren Übung der Untersucher, um die Methode zu verallgemeinern. Es läßt sich indessen jetzt schon sagen, daß der Röntgendiagnostik der Magenkrankheiten in Zukunft eine wichtige Stellung gehören wird.

Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit der Röntgendiagnostik der Magenkrankheiten mögen die beiden folgenden Fälle dienen.

1. Patient K. kommt wegen zunehmender Schwäche und Mattigkeit, Arbeitsunfähigkeit, Druck im Magen, Appetitlosigkeit und Erbrechen schwarzer Massen in das Krankenhaus St. Georg-Hamburg. Das Abdomen ist weich, unterhalb des

[1]) Die im Verlage von Gustav Fischer in Jena erschienene vorzüglich ausgestattete Arbeit bildet das erste Heft des I. Bandes der „Mitteilungen aus dem Laboratorium für radiologische Diagnostik und Therapie im k. k. allgemeinen Krankenhaus in Wien“, Herausgeber Holzknecht. Es enthält 1. die Grundlagen der radiologischen Untersuchungen des Magens (Holzknecht u. Brauner), 2. die radiolog. Diagnostik raumbeschränkender Tumoren usw. (Holzknecht u. Jonas), 3. Peristaltik am Antrum pylori (Kaufmann u. Holzknecht), 4. der normale Magen usw. (Holzknecht), 5. radiologische Beweglichkeitsprüfung usw. (Holzknecht), 6. Enteroptose, Magenerweiterung, Relaxatio ventriculi (Holzknecht).

Nabels meteoristisch vorgewölbt. Die Magengegend eingesunken, druckempfindlich, kein Tumor fühlbar, dagegen bisweilen ein starkes Resistenzgefühl. Leber und Milz unverändert. Der Stuhl ist geformt und enthält Blut. Die Motilität ist gestört. Nach dem Probeabendessen finden sich am nächsten Morgen Speisereste im Magen. Die Spülflüssigkeit ist trübe und blutig, keine freie Salzsäure. Die klinische Untersuchung wird auf Magenkarzinom gestellt. Bei der Röntgenuntersuchung auf dem Schirm gleitet der Wismutbrei leicht in den Magen und bildet dort eine annähernd trichterförmige Gestalt mit abgestumpfter Spitze nach unten. Der untere Rand ist zackig und zeigt deutliche Spuren von Einbuchtungen. An der medialen Ecke dieses Trichters erkennt man einen streifenförmigen Schatten von geringer Dicke, welcher auf Wismut, das in den Pylorus eingetreten ist, zurückzubeziehen ist. Es wird die Diagnose gestellt „Raumbeschränkender Tumor im Pylorusteil des Magens, welcher teilweise den Durchgang nach dem Darm verlegt hat". Die Operation ergibt nach Eröffnung des Peritoneum eine tumorartige Infiltration in der Pylorusgegend, die auch auf das Duodenum übergeht. Drüsen und Verwachsungen sind unter der Leber bis zur Cardia hinauf und auch an der großen Kurvatur nach dem Colon transvers. zu vorhanden. Operation. Der Tod erfolgte später unter den Erscheinungen einer Peritonitis.

2. Patientin S. war wegen Magenbeschwerden, Aufstoßen und Erbrechen in das Krankenhaus St. Georg-Hamburg gekommen, Blut war dem Erbrochenen niemals beigemengt gewesen. Aus der klinischen Untersuchung ist hervorzuheben, daß eine unbestimmte, nicht sehr ausgesprochene Resistenz, welche etwas druckempfindlich war, dicht unterhalb des Rippenbogens gefühlt wurde. Die Größe des Magens ließ sich nicht genau bestimmen. Die große Kurvatur schien ca. zwei Finger breit unter dem Nabel zu stehen. Die fortdauernden Beschwerden führten zur Vornahme einer Gastroenterostomose.

Der Magen zeigt sich nicht vergrößert, keine Verwachsungen mit der Umgebung, auch kein Tumor, weder im Magen selbst noch im Pylorus. Die vordere Magenwand wird mit dem aufsteigenden Aste einer Jejunumschlinge durch Murphyknopf verbunden. Patientin übersteht die Operation gut und wird nach einiger Zeit beschwerdefrei entlassen. Die Besserung dauert indessen nicht lange. Schon nach $^1/_2$ Jahr stellen sich neue Beschwerden ein, welche ihre abermalige Aufnahme in das Krankenhaus erforderlich machten. Der Knopf soll inzwischen nicht abgegangen sein. Im Abdomen fühlt man in der Tiefe eine undeutliche Resistenz, aber keinen Tumor. Bei der Operation läßt sich der Magen leicht verschieben. An der alten Gastroenterostomie-Stelle war äußerlich nichts Pathologisches zu entdecken. Der Magen vollkommen abtastbar, Pylorus äußerlich normal. Es wird eine zweite Gastroenterostomie gemacht. Auch diese Operation übersteht Patientin

gut. Nachdem sie sich erholt hat, wird sie geheilt entlassen. Nach 8 Jahren kommt Patientin zur Nachuntersuchung ins Krankenhaus. Lebhafte Beschwerden, Erbrechen, Übelkeit etc. Eine geregelte Diät beseitigt indessen die Beschwerden, so daß Patientin geheilt entlassen werden kann.

Die bei der letzten Vorstellung der Patientin vorgenommene Röntgenuntersuchung läßt sehr schön den Magen erkennen. An demselben befindet sich eine nach der linken Seite vorgewölbte sackartige Ausstülpung, in welche die Dünndarmschlinge einmündet. Der Magen, sowie die Dünndarmschlinge enthalten die deutlich sichtbare Wismutmahlzeit. Es ist also durch das Röntgenverfahren der Beweis geführt, daß die Speisen schnell und ohne Störung in den Darm gelangen.

Die *Nierensteintechnik* hat sich in den letzten Monaten wiederum vervollkommnet. *Köhler* hat durch gleichzeitige Aufnahme auf zwei Platten durch Übereinanderdeckung derselben eine nicht unwesentliche Verstärkung kontrastschwacher Aufnahmen erreicht. Die Nierensteintechnik ist durchaus als schwer zu bezeichnen und infolgedessen nur dann diagnostisch zu verwerten, wenn sie in allen Details vollkommen beherrscht wird.

Die von mir angegebene *Kompressionsblendenmethode für die röntgenologische Nierensteintechnik* gewährleistet dem in dieser Technik bewanderten Untersucher die denkbar größte Sicherheit des Steinnachweises. In vielen Fällen, welche mit anderen Methoden ein negatives Resultat gegeben hatten, konnte ich mit der Kompressionsblende selbst kleine Steine unzweideutig nachweisen. Es ist gelegentlich die Befürchtung ausgesprochen worden, daß der Druck, welcher auf die Nierengegend während der Untersuchung ausgeübt wird, namentlich bei etwa bestehenden eitrigen Erkrankungen, dem Patienten schädlich werden könnte. Demgegenüber ist zu bemerken, daß der Röntgenuntersucher auch Arzt ist und als solcher die nötige Vorsicht, unbeschadet der Genauigkeit seiner Röntgenuntersuchung, wohl nicht aus dem Auge lassen wird. Ich habe mit der Kompressionsblende in den letzten Jahren ca. 500 Nierensteinpatienten

untersucht, darunter zahlreiche Fälle von Pyonephrosen und Pyelitiden, ohne einen Zwischenfall zu erleben. Auf die Beschreibung der Technik näher einzugehen ist hier nicht der Ort, ich verweise daher auf die in meinem Lehrbuch der Röntgentechnik gegebene ausführliche Darstellung. Bei exakten Aufnahmen ist man sehr wohl imstande, die Nieren selber zu sehen. Ich möchte annehmen, daß nur in wenigen Fällen ihre Darstellung auf unüberwindliche Schwierigkeiten stößt. Man darf an Röhren jedenfalls nicht sparen und muß für jede Nierensteinaufnahme ein absolut tadelloses Exemplar zur Verfügung haben. Es ist wohl als selbstverständlich zu bezeichnen, daß eine gründlich durchgeführte Nierensteinuntersuchung beide Nieren und Harnleiter mit Einschluß der Harnblase umfassen soll. Hierzu gehören im Durchschnitt 6 Aufnahmen. Differenzierung der Weichteile muß auf jeder Aufnahme vorhanden sein. Es genügt nicht nur die durch Schmerzen als erkrankt charakterisierte Seite zu untersuchen, denn es kommen, wovon ich mich wiederholt überzeugen konnte, Fälle vor, welche Schmerzen ausschließlich auf der steinfreien Seite haben. Daß man mit größter Vorsicht bei der Röntgendiagnose auf Konkrementbildung vorgehen muß, ist bei der Verantwortlichkeit für die Richtigkeit der Befunde selbstverständlich. Erst auf Grund tadellos ausgeführter Untersuchungen, welche durch die Ergebnisse einer chemischen und mikroskopischen Harnanalyse gestützt sein müssen, ist man in der Lage z. B. bei *negativem* Ausfall, Konkremente mit gewisser Einschränkung *auszuschließen*.

Die Röntgenuntersuchungen der Nierensteinkranken geben wohl in allen Fällen einen sicheren Aufschluß darüber, ob Konkremente vorhanden sind, welche den Harnleiter *spontan* nicht zu passieren imstande sind. Sie können daher unter Umständen ausschlaggebend für die Indikation eines chirurgischen Eingriffs werden, jedenfalls

unterstützt die Röntgenuntersuchung die klinische Diagnose so wesentlich, daß jeder Nierensteinkranke heutzutage einer Röntgenuntersuchung unterzogen werden sollte. Irgendwelche Gefahren bezüglich Verbrennungen der Haut oder dgl. können bei sachgemäßer Technik sicher vermieden werden. Schwierig gestaltet sich zurzeit die Diagnose auf Harnleitersteine und zwar deshalb, weil beim Manne und bei der Frau kalkhaltige Gebilde im Becken vorkommen, welche zu irrtümlichen Annahmen von Harnleitersteinen Veranlassung geben können.

Diejenigen Gebilde, welche zur irrtümlichen Annahme von Harnleiter- oder Blasensteinen verleiten können, habe ich in folgende verschiedene Gruppen zusammengefaßt: Harnleiterdivertikelsteine, Prostatasteine, verkalkte Myome, Extrauteringraviditäten, Dermoidcysten, Verkalkungen der Iliaca, Verkalkungen der Uterinalgefäße, Kotsteine, Spina ischii-Anlagerungen, Einlagerungen in die Ligamenta sacro-iliaca und Phlebolithen. Unter diesen Gruppen kalkhaltiger Gebilde haben die Phlebolithen seither am häufigsten zu diagnostischen Irrtümern Veranlassung gegeben, die zu Operationen, ja sogar zu solchen mit tödlichem Ausgang geführt haben. Sowohl beim Manne als ganz besonders bei der Frau kommen eigentümliche, meist kreisrunde, bisweilen deutliche Schichtung zeigende Schatten im Becken vor, welche als „Beckenflecke“ lange Zeit der Erklärung harrten. Durch Röntgenaufnahmen der Leichen entnommenen Uteri und ihrer Adnexe wies Eugen Fraenkel einwandfrei nach, daß die in so vielen Beckenaufnahmen weiblicher Patienten beobachteten eigentümlichen Schatten in der Tat auf Venensteine zurückzuführen waren. Die beim Manne vorkommenden Phlebolithen haben ihren Sitz in den innerhalb des Beckens gelegenen Venen. Ich kann an dieser Stelle nicht näher auf die Besprechung der übrigen Gruppen kalkhaltiger Körper, welche zu Fehlschlüssen An-

laß geben, eingehen, möchte indessen kurz auf die neuerdings von Weisflog beschriebenen Enterolithen des Wurmfortsatzes hinweisen. Die Phlebolithenschatten beweisen, daß man bei der Diagnose der im Becken gelegenen Harnleitersteine, ebenso wie bei der Annahme von Blasensteinen allen Grund zur Vorsicht hat.[1]) Vor allem sind es die Phlebolithen, welche in der Gegend der Harnleiter erscheinen, und schon manche Fehldiagnose verschuldet haben. Ref. hat auf dem letzten Röntgenkongreß dieses Thema ausführlich behandelt und im ganzen 13 verschiedene Ursachen für Kalkablagerungen in den Beckenorganen nachgewiesen. Wenn auch der Geübte unter Zuhilfenahme aller klinischen Symptome sich vor Fehlschlüssen wird schützen können, so ist doch in zweifelhaften Fällen beim Vorhandensein derartiger Schatten die Einführung einer mit Draht armierten Sonde in den Harnleiter zu empfehlen. Deckt sich die Sonde mit dem als Stein angesprochenen Schatten, so wird sich die Diagnose in den meisten Fällen, namentlich dann, wenn eine Stereoskopaufnahme gemacht worden ist, aufrecht erhalten lassen, liegen dagegen die Schatten des Konkrements und der Sonde auseinander, so ist damit der sichere Beweis erbracht, daß es sich nicht um einen im Harnleiter liegenden Stein handeln kann.

Die Differenzierung eines Blasensteines von einem der oben erwähnten Schatten kalkhaltiger Körper wird man in manchen Fällen durch Auffüllung der Blase mit Kollargol und nachfolgender Röntgenaufnahme erreichen können. Die gefüllte Blase erscheint dann als kompakter Schatten, aus dessen Lage im Becken sich Rückschlüsse auf die etwa vorhandenen zweifelhaften Konkrementschatten ziehen lassen.

---

[1]) Ausführliche Publikation s. Verhandlungen der deutschen Röntgen-Gesellschaft Bd. II.

Elektrochemie und ihre Beziehungen zur Medizin.

Aus dem Zyklus von Vorträgen über „Elektrizität und Licht in der Medizin", veranstaltet vom Zentralkomitee für das ärztliche Fortbildungswesen in Preußen (Wintersemester 1906/07).

Von

Prof. Dr. **G. Bredig** in Heidelberg.

Geehrte Anwesende! Wenn man heute die Lehrbücher der Physiologie und Elektrotherapie durchmustert, so findet man, wie wenig bisher die Hoffnungen Galvani's erfüllt sind, die er im Jahre 1790 bei seinen berühmten Froschschenkelversuchen hegte, daß aus den Beziehungen der Elektrizität zu den Lebensvorgängen eine besonders wichtige Erkenntnis dieser letzteren selbst fließen werde. Wenn wir auch dank den Untersuchungen eines Helmholtz, Pflüger, Dubois-Reymond, Hermann, Bernstein, v. Kries, Biedermann, Engelmann, Hering, Loeb, Garten, Boruttau, Einthoven, Zwaardemaker, u. a. über die Wirkung einer Stromöffnung oder -Schließung im auf- und absteigenden Strom auf Muskeln und Nerven, über die Richtung, Größe und den zeitlichen Verlauf der im Organismus bei Tätigkeit oder Verletzung der Organe spontan auftretenden elektrischen Ströme aufs

Genaueste orientiert sind und ihr Eintreten, ihre räumliche Ausbreitung und ihre Zeitkurve mit feinen Registrierinstrumenten auf weniger als 0,001 Sekunde genau ausmessen können, so scheinen wir doch von dem Ziele, alle diese Vorgänge auf bekannte, einfache, physikalische und chemische Erscheinungen zurückzuführen, noch weit entfernt zu sein. Immerhin darf uns das aber nicht wundernehmen, denn auch die Physik und Chemie hat erst in den letzten Jahrzehnten die gewöhnlichsten galvanischen und elektrochemischen Erscheinungen unter große allgemeine Gesetze zusammenfassen und mit ihrer Hilfe begreifen können. Von diesen Gesetzen konnten daher die Biologen bei ihrem so komplizierten Objekte, dem Organismus, bisher noch wenig Anwendung machen. Nachdem aber in neuester Zeit die Elektrophysik und Elektrochemie zu so großer Blüte gekommen sind, dürfen wir wohl bei sachlicher Anwendung dieser Errungenschaften auch für die Elektrophysiologie dasselbe erwarten. Freilich gehört dazu eine vollständige und vor allem exakte Kenntnis[1]) obiger beiden Grund-

---

[1]) Als gute Lehrbücher und Literatur werden empfohlen: E. Cohen, Vorträge f. Ärzte über physikal. Chemie (2. Aufl.), Leipzig 1907. R. Hoeber, Physik. Chemie d. Zelle u. d. Gewebe (2. Aufl.), Leipzig 1906. H. J. Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre i. d. med. Wissensch., 3 Bde., Wiesbaden 1902/04. A. v. Koranyi u. P. F. Richter, Physikal. Chem. und Mediz., Leipzig 1907. F. Bottazzi, Principii di Fisiologia, Bd. I, Mailand 1906. J. Loeb, Vorlesg. üb. d. Dynamik d. Lebenserscheinungen, Leipzig 1906. H. Boruttau, Elektric. i. d. Medic. u. Biologie, Wiesbaden 1906. Le Blanc, Lehrb. d. Elektrochemie (4. Aufl.), Leipzig 1906 Abegg, Theorie d. elektrolyt. Dissoziation, Stuttgart 1903. Arrhenius, Lehrb. d. Elektrochemie, Leipzig 1901. Danneel, Elektrochemie, Goeschensammlung 252. Arthur Müller, Allgemeine Chemie der Kolloide, Leipzig 1907. Zeitschrift f. Chemie u. Industrie der Kolloide, Dresden 1906/07. Für allgemeineres Studium der physikal. Chemie: W. Nernst, Theoret. Chemie (5. Aufl.), Stuttgart 1907. W. Ostwald, Grundr. d. allgem. Chemie (3. Aufl.), Leipzig 1899. J. H. van't Hoff, Vorlesungen über theoret. u. physik. Chemie, 3 Bde. (2. Aufl.), Braunschweig. Derselbe in Ostwald's

wissenschaften. In vielen medizinischen Lehrbüchern findet man aber ihre neueren Lehren entweder nur sehr spärlich oder derartig mißverstanden, daß sie so kaum nützen, eher sogar bei so oberflächlicher Anwendung schaden können.

Ich selbst, geehrte Anwesende, will Ihnen heute nicht als Biologe, sondern nur als Elektrochemiker einige für die bioelektrischen Erscheinungen wichtige Grundtatsachen der Elektrochemie vorführen oder in Erinnerung bringen. Während die Elektrophysik sich mit der Erzeugung und dem Verhalten der elektrischen Energie beschäftigt, hat die Elektrochemie die stofflichen Änderungen zu untersuchen, welche mit elektrischen Erscheinungen verknüpft sind. Wir werden uns daher heute Abend den Organismus nur als ein chemisches System vorzustellen haben, ohne behaupten zu wollen, daß wir von diesem Standpunkte aus alle Fragen der Elektrobiologie erschöpfen können.

Als chemisches System betrachtet besteht der elektrischen Strömen zugängliche Teil des Organismus in der Hauptsache aus den kolloiden Bestandteilen der Zellgewebe und des Protoplasmas und aus Wasser, welches eine größere Anzahl meist bekannter anorganischer [1]) und organischer [2]) Stoffe, wirklich oder kolloid gelöst, enthält. Wir müssen daher besonders das Verhalten der gelösten Stoffe wie Salze, Zucker usw. und der Kolloide, wie Eiweiß usw. gegen den elektrischen Strom kennen lernen. Wir haben zum besseren Verständnis dabei besonders drei prinzipiell voneinander getrennte Gruppen von Erscheinungen zunächst streng voneinander zu unterscheiden,

---

Klassiker Nr. 110, Leipzig. Ferner: Zeitschr. f. Elektrochemie, Halle, Bd. 1—13. Zeitschr. f. physikalische Chemie, Leipzig, Bd. 1—62. Jahrbuch der Elektrochemie, Halle, Bd. 1—12.

[1]) Vgl. A. Albu und C. Neuberg, Physiol. u. Pathol. des Mineralstoffwechsels. Berlin 1906.

[2]) Vgl. E. Abderhalden Lehr. d. Physiolog. Chemie. Berlin-Wien 1906.

wenn sie auch in praxi meist nebeneinander auftreten und daher in der medizinischen Literatur leider oft miteinander verwechselt werden.

Diese drei Gruppen sind:

I. Die Erscheinung der elektrolytischen Leitung durch Lösungen oder richtiger durch gewisse in diesen gelöste Stoffe, durch die sogenannten „Elektrolyte".

Diese Leitung des Stromes durch Lösungen ist (zum Unterschied von der „metallischen" Leitung) stets mit einer örtlichen Wanderung von Materie, der „Ionen", mit und gleichzeitig auch gegen die Richtung des positiven Stromes (Kationen und Anionen) verknüpft d. h. mit sogenannter „Ionenwanderung", die zunächst nichts mit der chemischen Zersetzung durch den Strom zu tun hat und auch ohne diese, z. B. im Organismus, stattfinden kann.

Die gewanderten Quantitäten der Ionen stehen in einem strengen Verhältnis zu der von ihnen transportierten Elektrizitätsmenge.

II. Die Erscheinungen der elektrolytischen Zersetzung und Umwandlung.

Diese finden fast ausschließlich nur an den Elektroden, dort aber bei Stromdurchgang stets statt.

Die an den Elektroden durch den Strom infolge Ionenentladung oder -Beladung zersetzten bzw. chemisch umgewandelten Stoffmengen stehen ebenfalls in einem strengen Verhältnis zu den dabei verbrauchten Elektrizitätsmengen.

III. Die Erscheinungen der elektrischen Endosmose und Kataphorese.

Hier handelt es sich zwar auch um eine Wanderung von Materie im elektrischen Potentialgefälle ohne Zersetzung, aber nicht von gelöster Materie in Form von „Ionen", sondern um die relative räumliche Verschiebung zweier nicht miteinander zu homogener Lösung vermischter, sondern

heterogener verschiedener Medien gegeneinander, wie z. B. um die Verschiebung von Wasser durch die Poren eines porösen Diaphragmas hindurch oder von Öltröpfchen oder suspendierten Stäubchen gegen das umgebende Medium in einer Emulsion oder Suspension.

I. Die elektrolytische Leitung durch gelöste Stoffe. Ionenwanderung.

Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern in wässeriger Lösung.

Verbindet man (Fig. 1) zwei einander isoliert gegenübergestellte Platinelektroden (a u. b) durch eine Glühlampe c mit einer genügend kräftigen elektrischen Gleichstromquelle und taucht man das Elektrodenpaar nun in reines Wasser, so leuchtet, wie Sie sehen, die Glühlampe nicht auf, weil das reine Wasser den elektrischen Strom nur äußerst schwach, für uns hier kaum merklich zu leiten vermag. Tauche ich unser Paar von „Tauchelektroden" in Wasser, in welchem Harnstoff oder Alkohol oder Zucker gelöst sind, so ist der Erfolg (wenn diese Stoffe rein waren) der gleiche; die Glühlampe leuchtet nicht auf, der Strom wird von diesen Stoffen, wenn ich sie im Wasser gelöst habe, auch nicht geleitet.

Ganz anders ist der Erfolg des Versuches, wie Sie sehen, wenn ich unsere Tauchelektroden in der angegebenen Schaltung in eine wässerige Lösung eines Salzes (z. B. Kochsalz) oder einer Säure (z. B. Salzsäure) oder einer Base (z. B. Natron) senke; die Glühlampe leuchtet auf zum Zeichen dafür, daß nunmehr in Gegenwart dieser Stoffe im Wasser der Strom von einer Elektrode zur anderen zu fließen vermag, diese Lösungen also elektrisch leitend sind. Stoffe von der Art des Alkohols, des Harnstoffes und Zuckers nennen wir Nichtelektrolyte, Stoffe von der Art der Salze, Säuren und Basen nennen wir Elektrolyte.

Wir stehen hier also vor einem fundamental verschiedenen Verhalten verschiedener Stoffe[1]), wenn wir sie in Wasser auflösen und auf ihre Fähigkeit prüfen, den elektrischen Strom zu leiten.

Bis vor etwa 20 Jahren mußte man sich mit der allerdings auch fundamentalen Feststellung von Hittorf und später von F. Kohlrausch begnügen, daß „Elektrolyte Salze sind", wobei

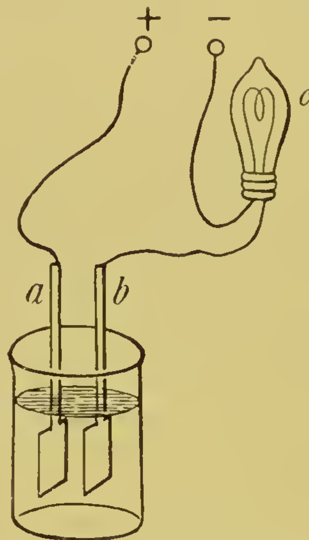


Fig. 1.

man Säuren als Salze des Wasserstoffs und Basen als Salze der Hydroxylgruppe aufzufassen hat. Die Frage jedoch, warum die Salze, Säuren und Basen im gelösten Zustande Leiter des elektrischen Stromes, Elektrolyte sind, Stoffe wie Harnstoff, Alkohol, Zucker usw. dagegen nicht, blieb trotz mancherlei recht genialer Versuche eines Clausius, Hittorf, Kohlrausch u. a. so lange dunkel, als man der Frage nach dem Zustande der Stoffe in Lösung überhaupt nicht näher treten konnte.

---

[1]) Dazwischen gibt es freilich Stoffe aller Arten in stetigen Übergängen.

Theorie der Lösungen nach van't Hoff's Analogie zwischen Gasen und verdünnten gelösten Stoffen.

Hier wurde zunächst der Weg geebnet durch die geradezu epochemachende Entdeckung van't Hoff's (1885)[1]), daß alle Stoffe im verdünnten, gelösten Zustande sich bezüglich einer wichtigen Eigenschaft quantitativ ganz analog den gasförmigen Stoffen verhalten, nämlich in bezug auf ihr Verdünnungsbestreben. Ihnen allen ist bekannt, daß jedes Gas und jeder Dampf bei

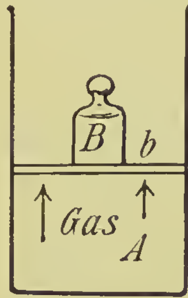


Fig. 2.

gegebener Temperatur ein Bestreben zeigt, sich zu verdünnen. Dieses Bestreben äußert sich als sein Gasdruck, und mit Hilfe dieses Gasdruckes, also durch Expansion, d. h. durch Verdünnung des Gases können wir Arbeit erhalten, indem z. B. das Gas mit seinem eigenen Drucke bei dieser Expansion (Fig. 2) im Kolben A den beweglichen Kolben b und das aufgelegte nicht zu große Gewicht B in die Höhe zu heben vermag.

Auch jeder gelöste Stoff besitzt, wie lange schon bekannt ist, ein Bestreben, sich mit Lösungsmittel (z. B. mit Wasser) zu verdünnen. So wissen

---

[1]) Vgl. van't Hoff, Gesetze des chem. Gleichgew. im verdünnten, gasf. oder gelöst. Zustande. Ostwald's Klassiker Heft 110.

Sie bereits, daß Zucker oder Salz aus ihrer Lösung (Fig. 3, a) (sogar ev. entgegen der Erdschwere) in darüber geschichtetes Wasser b so lange durch „Diffusion" auswandern, sich also freiwillig verdünnen, bis in allen Teilen der Flüssigkeit die Konzentrationen gleich geworden sind. Auch hier kann man dieses Verdünnungsbestreben der gelösten Stoffe, gerade wie bei den Gasen, unter gewissen Umständen als einen Druck wahrnehmen, nämlich als den sog. „osmotischen Druck", mit welchem z. B. die in dem Safte der Zellen gelösten Stoffe die pflanzliche Zelle (de Vries) oder z. B. ein rotes Blutkörperchen (Hamburger,



Fig. 3.

Koeppe), wenn wir diese in Wasser legen, zum Schwellen, zur „Plasmolyse" bringen, indem die im Zellsaft gelösten Stoffe sich mit dem eingesaugten Wasser verdünnen. Auch künstlich kann man solche „osmotische Zellen" herstellen, wie der verstorbene M. Traube und der Leipziger Pflanzenphysiologe W. Pfeffer gezeigt haben, indem man eine Lösung mit „halbdurchlässigen" Wänden umgibt[1]), d. h. mit solchen Wänden,

[1]) In solchen halbdurchlässigen Wänden oder ähnlichen Vorrichtungen ist auch der Inhalt der Zellen eingebettet. Bei Traube's und Pfeffer's künstlichen Zellen bestanden die halbdurchlässigen Wände aus Ferrocyankupfer oder gerb-

welche zwar durchlässig für das Lösungsmittel, d. h. für das Wasser sind, aber undurchlässig für die gelösten Stoffe (z. B. Zucker, Kochsalz usw.). Bilden wir nun unseren Kolben A (Fig. 4) aus solchen halbdurchlässigen Wänden und versehen ihn ebenfalls mit einem ganzundurchlässigen, beweglichen Stempel b, so brauchen wir ihn nur z. B. mit der Zucker- oder Salzlösung (wie früher in Fig. 2 mit einem Gase) gefüllt in ein Gefäß D (was wesentlich ist) mit reinem Lösungsmittel, also in Wasser zu tauchen, um alsbald zu beobachten, wie dieses Wasser durch die Wände

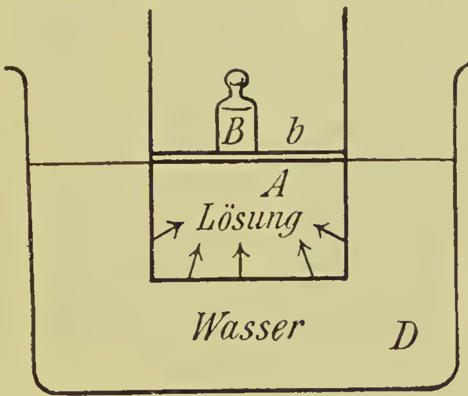


Fig. 4.

des Kolben, die nur für den gelösten Stoff undurchlässig sind, mit Gewalt von außen in der Richtung der Pfeile eingesogen wird und die Lösung unter Volumvergrößerung verdünnt, so daß der Kolben b mit einem Drucke in die Höhe getrieben wird, der ebenso wie der Gasdruck in dem Beispiel der Fig. 2 Gewichte B zu heben und somit Arbeit zu leisten vermag. Wir können natürlich auch durch ein an dem Kolben angebrachtes Manometer diesen Druck messen, mit welchem sich der gelöste Stoff (z. B.

---

saurem Leim. Siehe auch W. Nernst, Zeitschr. f. physik. Chem., 6, 40 (1890).

Zucker oder Kochsalz usw.) durch eingesaugtes Lösungsmittel zu verdünnen sucht. Wir nennen diesen Druck daher den „osmotischen Druck des gelösten Stoffes". Dasselbe Verdünnungsbestreben der gelösten Stoffe zeigt sich auch dadurch, daß z. B. wässerige Lösungen von Rohrzucker oder Salz usw. hineingeworfene Eisstücke selbst unterhalb 0° zum Schmelzen bringen, indem sich dabei die Lösung durch das geschmolzene Eiswasser verdünnt. Der Schmelzpunkt des Wassers wird also, wie lange bekannt ist, durch gelöste Stoffe erniedrigt.

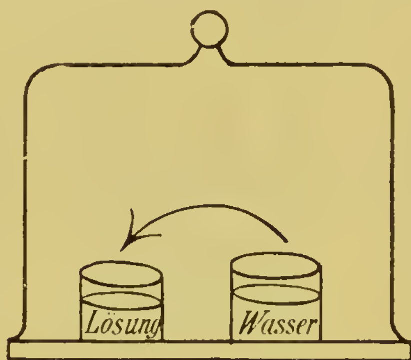


Fig. 5.

Stellt man unter eine Glasglocke eine Schale (Fig. 5) mit einer wässerigen Lösung, z. B. von Zucker oder Salz, neben eine Schale mit reinem Wasser von derselben Temperatur, so wird man mit der Zeit bemerken, daß infolge des oben genannten Verdünnungsbestrebens der gelösten Stoffe (trotz der Gleichheit der Temperatur in beiden Schalen) das reine Wasser aus der einen Schale in die Lösung in der anderen Schale hinüberdestilliert und diese also verdünnt. Infolge des genannten Verdünnungsbestrebens der gelösten Stoffe müssen also Lösungen einen kleineren Dampfdruck haben als reines Lösungsmittel bei derselben Temperatur. Von diesem Dampfdruckunterschiede

können wir ev. sogar einen kleinen Dampfmotor treiben lassen (Fig. 6), indem dabei freiwillig das reine Wasser aus A in den Kolbenzylinder P hinein verdampft und aus diesem als Dampf herausgehend sich in der Lösung B, diese verdünnend bei derselben Temperatur niederschlägt.

Das sich so als Dampfdruckunterschied zwischen Lösung und reinem Lösungsmittel äußernde Verdünnungsbestreben der gelösten Stoffe vermag also auch auf diesem Wege Arbeit zu leisten, analog wie das Verdünnungsbestreben der Gase bei ihrer Expansion.

Fig. 6.

(Der Dampfraum ersetzt hier also die halbdurchlässige Wand des Beispieles Fig. 4.)

Bis hierher war qualitativ noch kein Unterschied zwischen dem Verhalten gelöster Elektrolyte und demjenigen von gelösten Nichtelektrolyten in ihrem Verdünnungsbestreben zu bemerken. Dies wird aber sofort anders, wenn wir das Verdünnungsbestreben der gelösten Stoffe zum Vergeiche mit dem der Gase quantitativ messen, wie wir das nach dem Gesagten mit Hilfe des osmotischen Druckes oder leichter und genauer mit Hilfe der von den gelösten Stoffen bewirkten und (wie van't Hoff gezeigt hat) diesem Drucke proportionalen Gefrierpunktserniedrigung oder

Dampfdruckerniedrigung des Lösungsmittels ausführen können. Am besten definiert und mißt man dabei das Verdünnungsbestreben quantitativ sowohl für Gase wie für gelöste Stoffe durch das Arbeitsquantum, welches sie uns in maximo liefern können, indem sie sich freiwillig verdünnen, und das wir umgekehrt mindestens aufwenden müssen, wenn wir diese Stoffe wieder zurückkonzentrieren wollen, also Gase durch Kompression, gelöste Stoffe durch zwangsweise Entziehung von Lösungsmitteln auf einem „umkehrbaren" Wege, etwa durch Herunterdrücken des Kolben b in Fig. 4 oder durch Rückwärtsdrehen des nun als Saug- und Druckpumpe wirkenden Kolbenmotors P in Fig. 6 oder durch Ausfrierenlassen des Lösungsmittels aus der Lösung usw.

Bei den Gasen liefert der seit langer Zeit bekannte Satz von Avogadro,

> „daß die gleiche Anzahl von Grammmolekülen verschiedener Gase im gleichen Volumen (also bei gleicher Verdünnung) bei gleicher Temperatur denselben Druck ausüben",

für das bei der Gasverdünnung (Expansion) gewinnbare maximale Arbeitsquantum folgenden Satz:

Verdünnen wir ein Grammmolekül irgend eines Gases (z. B. 32 g Sauerstoff oder 36,5 g Chlorwasserstoff oder 18 g Wasserdampf oder 74 g Ätherdampf) auf umkehrbarem Wege bei konstanter Temperatur auf das n-fache Volumen, so ist das dabei in maximo gewinnbare Quantum Arbeit für jedes Grammmolekül des Gases das gleiche, unabhängig von der Natur des Gases, und zwar ist es z. B. für $n = 10$ also für die Verdünnung auf das 10fache Volumen bei Zimmertemperatur (18^0 C $= 273 + 18$ absol.) äquivalent 1330 Grammkalorien und steigt proportional der absoluten Temperatur.

Im Jahre 1885 entdeckte nun van't Hoff in

seiner berühmten Theorie der Lösungen einen Satz, der die Verdünnungsarbeit der Lösungen auch quantitativ als gleich derjenigen der Gase feststellte, womit übrigens die Gültigkeit des Avogadro'schen Satzes auch für gelöste Stoffe verbunden ist, wenn man an Stelle des gewöhnlichen Gasdruckes den für das Verdünnungsbestreben verdünnter gelöster Stoffe ebenso charakteristischen osmotischen Druck der letzteren setzt. So erhält man aus dieser neuen Theorie der Lösung folgenden Satz nach van't Hoff (analog zum Satze von Avogadro für Gase): daß die gleiche Anzahl von Grammmolekülen verschiedener gelöster Stoffe im gleichen (nicht zu kleinen) Volumen Lösung (also bei gleicher Verdünnung) bei gleicher Temperatur denselben osmotischen Druck zeigt. Dieser osmotische Druck ist ferner gleich dem Gasdrucke, welchen dieselbe Anzahl Grammmoleküle bei gleicher Temperatur und gleicher Verdünnung im Gaszustande ausüben würde.

Hieraus folgt gerade wie bei den Gasen auch für das Verdünnungsbestreben gelöster Stoffe der Satz:

Verdünnen wir ein Grammmolekül irgend eines (nicht zu konzentriert) gelösten Stoffes (z. B. also in Wasser gelöste 342 g Rohrzucker oder 46 g Alkohol oder 56 g Harnstoff) auf umkehrbarem Wege bei konstanter Temperatur weiter mit Lösungsmittel auf das nfache Volumen, so ist das dabei in maximo gewinnbare Quantum Arbeit für jedes Grammmolekül des gelösten Stoffes das Gleiche wie bei der Verdünnung eines Grammmoleküles Gas ohne Lösungsmittel, unabhängig von der Natur des gelösten Stoffes, und zwar ist es z. B. für n = 10, also für die Verdünnung auf das 10fache Volumen bei Zimmertemperatur (18° C) ebenfalls wie bei Gasen äquivalent 1330 Grammkalorien und steigt ebenso wie bei Gasen proportional der absoluten Temperatur.

Da wir gesehen haben, daß mit dem Verdünnungsbestreben des gelösten Stoffes nicht nur sein osmotischer Druck sondern auch Gefrierpunkterniedrigung und Dampfdruckerniedrigung d. h. Siedepunktserhöhung des Lösungsmittels parallel gehen, so begreifen wir, daß van't Hoff auch den folgenden empirischen Gesetzmäßigkeiten Raoult's eine sichere theoretische Grundlage geben konnte:

Äquimolekulare Mengen verschiedener Stoffe, in derselben Menge Wasser gelöst, bewirken gleiche Gefrierpunktserniedrigung, gleiche Dampfdruckerniedrigung und Siedepunkterhöhung desselben und zwar muß in wässerigen Lösungen (die uns biologisch hier wohl hauptsächlich interessieren) jedes Grammmolekül irgend eines gelösten Stoffes[1] (sei er nun Harnstoff, Zucker usw.) jedes Grammmolekül gelösten Stoffes auf 1000 g Wasser den Gefrierpunkt desselben um $1{,}850^0$ erniedrigen und den Siedepunkt desselben um $0{,}510^0$ erhöhen. Der osmotische Druck solcher Lösungen ist bei 0^0 nahezu[2]) 22,4 Atm., nämlich gleich dem Drucke eines Gases, das pro Liter ein Grammmolekül enthält.

Ionentheorie von Arrhenius. Theorie der Lösungen für Elektrolyte.

Die eben genannten Forderungen der Lösungstheorie van't Hoff's wurden auch in der Tat durch sehr zahlreiche direkte Messungen der Gefrierpunkte und Siedepunkte von Lösungen der verschiedensten Stoffe und durch andere direkte und indirekte Messungen ihrer Verdün-

---

[1]) Hierbei ist natürlich Voraussetzung, daß der gelöste Stoff beim Sieden und teilweisen Gefrieren der Lösung nicht mit dem Lösungsmittel entfernt wird, also nicht verdampft, und daß er beim Gefrieren nicht mit dem Lösungsmittel ausfriert.

[2]) Es sei nicht vergessen, daß es sich um Grenzgesetze handelt, die um so ungenauer erfüllt sind, je konzentrierter die Stoffe in Lösung sind.

nungsarbeit bestätigt, aber nur so lange, als man Nichtelektrolyte verglich, also Stoffe, welche in wässeriger Lösung den elektrischen Strom nicht leiten. Elektrolyte dagegen, wie Salzsäure, Natriumhydroxyd, Kochsalz, also Salze, Säuren und Basen, lieferten pro Grammmolekül bei 10facher Verdünnung eine Verdünnungsarbeit, welche bei 18^0 nicht wie oben gefordert wird 1330 Grammkalorien äquivalent ist, sondern nahezu das doppelte Quantum Arbeit. Dementsprechend ist auch die Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung, welche diese und ähnliche Stoffe in Wasser gelöst hervorbringen, nicht gemäß den obigen Forderungen der Theorie 1,850^0 bzw. 0,510^0 pro g-Molekül in 1000 g Wasser wie bei Harnstoff oder Zucker usw., sondern nahezu doppelt so groß, gerade als ob wir in den üblichen Formelgewichten 36,5 g HCl, 40 g NaOH und 58,5 g NaCl nicht ein Grammmolekül, sondern je zwei Grammmoleküle vor uns hätten, als ob also jedes Molekül HCl oder NaOH oder NaCl in je zwei Teilmoleküle zerfallen wäre. Elektrolyte wie $CaCl_2$, Na_2SO_4, H_2SO_4, K_4FeCy_6 usw., gaben sogar noch größere Vielfache der normalen Werte für ihre Verdünnungsarbeit, Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung in Lösung, gerade als ob jedes Molekül dieser Stoffe in mehr als 2 Teilmoleküle zerfallen wäre. Auch bei Gasen waren hierfür (freilich ohne das Charakteristikum der elektrischen Leitfähigkeit) Analoga bekannt, indem z. B. 1 Grammmolekül Chlorammonium d. h. 53,5 g im Gaszustande den doppelten Druck und die doppelte Verdünnungsarbeit, 1 Grammmolekül carbaminsaures Ammoniak $N_2H_6CO_2$ sogar den dreifachen Druck und die dreifache Verdünnungsarbeit lieferten, als man nach ihrer Formel und dem Avogadro'schen Satze erwarten sollte. Bei diesen Gasen hat man die Aufklärung darin gefunden, daß eben jedes

Molekül dieser Stoffe sich im Gaszustande in mehrere, zum Beispiel NH_4Cl in zwei, nämlich in NH_3 und HCl, das $N_2H_6CO_2$ in drei Moleküle, nämlich in 2 NH_3 und CO_2, spaltet und daher diesen entsprechend größeren Druck liefert.

Es war also durchaus nicht so ganz allen Traditionen widersprechend, wenn man versuchte, auch die zu hohen Werte der Verdünnungsarbeit, sowie der Gefrierpunkts- und Siedepunktänderungen, welche bei vielen in Wasser aufgelösten Salzen, Säuren und Basen beobachtet waren, ebenfalls durch eine Spaltung ihres Moleküls in mehrere Teilmoleküle zu erklären. Über die Natur dieser Spaltstücke war man aber völlig im unklaren. Da war es nun ein fundamentaler, neuer Gedanke von Sv. Arrhenius, darauf hinzuweisen (1887), daß es nach allen sehr zahlreichen experimentellen Erfahrungen geradezu ein Charakteristikum der Elektrolyte ist, in diesem Sinne in wässeriger Lösung vom Avogadro-van't Hoff'schen Satze scheinbar abzuweichen. Gerade wie die Anomalie des Chlorammoniumdampfes usw. durch seine Spaltung in (allerdings unelektrische weil nichtleitende) Teilmoleküle NH_3 und HCl erklärt worden war, durfte Arrhenius auch annehmen, daß die ebenso abweichenden Stoffe NaCl, HCl, NaOH in Lösung pro Molekül in 2 Teilmoleküle zerfallen sind, so daß dann natürlich entsprechend der verdoppelten Molekelzahl auch der Druck und das Verdünnungsbestreben doppelt so groß werden mußte. Da mit dem Vorhandensein dieser Spaltung aber nachweislich stets auch elektrische Leitfähigkeit vorhanden war, so mußte letztere eben den vorhandenen Spaltstücken, den entstandenen Teilmolekülen der Elektrolyte, zugeschrieben werden. Diese Teilmoleküle, in welche jedes Molekül der Elektrolyte beim Lösen sofort zerfällt, sind also die Träger der Elektrizität bei deren Durchgang durch die Lösung, und diese „Ionen" wirken bei dem Verdünnungsbe-

streben als selbständige Moleküle in der Lösung.

So konnte Arrhenius in der Tat zeigen, daß alle obige scheinbare Widersprüche mit van't Hoff's Theorie der Lösung und ihrer Vereinigung mit dem Avogadro'schen Satze sofort schwinden, wenn wir nur den Mut haben, die von ihm schon früher aus anderen Gründen aufgestellte Ionentheorie anzunehmen. Hiernach ist also z. B. ein Grammmolekül NaCl, wenn wir es in Wasser aufgelöst haben, nicht mehr nur ein Molekül, sondern wirklich ein Gemisch zweier verschiedener Moleküle geworden, da es bei der Auflösung in Wasser nach der Gleichung $NaCl = Na^{\cdot} + Cl'$ nahezu vollständig in zwei besondere Moleküle,[1] nämlich in ein g-Molekül positiv elektrisch geladenes „$Na^{\cdot}$-Ion" und ein g-Molekül negativ elektrisch geladenes „Cl'-Ion" zerfallen ist. Die Gegenwart dieser Ionen ist gerade die Erklärung für die Fähigkeit des Kochsalzes, in wässeriger Lösung den elektrischen Strom zu leiten, indem das positive $Na^{\cdot}$-Ion, das „Kation", zur Eintrittsstelle der negativen Elektrizität, zur „Kathode", also in der Richtung des positiven Stromes wandert, während gleichzeitig das negative Cl'-Ion in entgegengesetztem Sinne, also als „Anion" zur Eintrittstelle des positiven Stromes zur „Anode" wandert.

Aus demselben Grunde leitet z. B. die Salzsäure, indem sie (noch vor Anlegung des Stromes, wie der doppelt zu große osmot. Druck usw. schon vor irgendwelcher Stromdurchleitung beweist) in wässeriger Lösung nahezu völlig in zwei verschiedene Ionenmoleküle $H^{\cdot}$ und Cl' zerfallen ist nach der Gleichung $HCl = H^{\cdot} + Cl'$, und ebenso ist das

---

[1]) Man bezeichnet die positive elektrische ⊕ Ladung der Ionen typographisch mit einem Punkte · und die negative ⊖ Ladung mit einem Strich ′ pro Valenz.

Natron in wässeriger Lösung nach der Gleichung $NaOH = Na^{\cdot} + OH'$ gespalten.

Das Chlorcalcium zerfällt entsprechend der von ihm erhältlichen dreifachen Verdünnungsarbeit in 3 Ionen, nämlich $CaCl_2 = Ca^{\cdot\cdot} + 2\,Cl'$ ebenso Na_2SO_4 nach der Gleichung $Na_2SO_4 = 2\,Na^{\cdot\cdot} + SO_4''$.

Hier muß der vielfach verbreiteten Ansicht entgegengetreten werden, als würden die Ionen in den Elektrolytlösungen erst durch die spaltende Wirkung des elektrischen Stromes bei dessen Einschaltung gebildet. Würden die Ionen erst beim Einschalten des elektrischen Stromes durch dessen „zersetzende" Wirkung auf die Elektrolyte gebildet, dann müßte NaCl, NaOH, HCl, $CaCl_2$ ohne Strom sich eben entgegen der Erfahrung wie nur ein normales ungespaltenes Molekül bei den van't Hoff'schen Methoden zur Messung der Verdünnungsarbeit durch osmot. Druck, Gefrierpunkt, Dampfdruckerniedrigung usw. benehmen, bei welchen ja überhaupt gar kein elektrischer Strom angelegt wird. Die Lösung von Elektrolyten wie NaCl, HCl, NaOH etc. ist leitend, nicht weil der elektrische Strom sie in Ionen spaltet, sondern weil ihre Ionen sich bereits beim Auflösen jener Stoffe in Wasser von selbst gebildet haben und daher bereits elektrisch geladen als Vehikel für den ev. Stromtransport stets in jeder wässerigen Lösung eines Elektrolyten schon fertig bereit stehen. Durch den angeschalteten Strom werden diese schon vorher vorhandenen Ionen innerhalb der Lösung nur zur Ortsveränderung, zur Wanderung im Sinne des Potentialgefälles oder gegen dasselbe je nach ihrer ⊕- oder ⊖-Ladung veranlaßt. Die mit ⊕ geladenen Kationen (z. B. $Na^{\cdot}$ oder $H^{\cdot}$ oder $Ca^{\cdot\cdot}$) müssen nämlich in der Lösung nach bekannten Gesetzen der Elektrizitätslehre von den Stellen höheren Potentials zu Stellen niederen Potentials, die mit ⊖ geladenen Anionen (z. B. Cl' oder OH' oder SO_4'') in umgekehrter Richtung wandern.

Mechanismus der Stromleitung. Wanderung der Ionen.

Daß eine solche „Wanderung der Ionen" im Strom tatsächlich eintritt, hat vor allem schon lange W. Hittorf in seinen klassischen, von seinen damaligen Fachgenossen lange nicht genügend gewürdigten, grundlegenden Untersuchungen [1]) klar erkannt und quantitativ verfolgt. Wir können diese Wanderung eines Ions im Strome innerhalb der Lösung schon mit bloßem Auge erkennen, wenn das betreffende Ion eine deutliche Eigenfarbe besitzt, wie z. B. nach Ostwald das Anion MnO_4' des übermangansauren Kaliums $KMnO_4$, das beim Auflösen in Wasser in die Ionen $K^{\cdot}$ und MnO_4' zerfällt. In diesem von Nernst angegebenen Vorlesungsversuche ist der untere Teil unseres U-förmigen Rohres bis a_1 a_2 mit der blauroten verdünnten Lösung von $KMnO_4$ gefüllt, darüber befindet sich farblose sehr verdünnte $NaNO_3$-Lösung in beiden Schenkeln, in welche Platinelektroden eintauschen. Wenn wir jetzt den Strom schließen, sehen wir (Fig. 7) wie sich die Grenze zwischen blauroter und farbloser Lösung von a_1 nach b_1 und von a_2 nach b_2, also in beiden Schenkeln in der Richtung nach der Anode hinbewegt, weil die blau-rote Farbe der Permanganatlösung eben dem Anion derselben, welches im Strome jetzt zur Anode wandert, angehört. Gleichzeitig wandert das positiv geladene farblose $K^{\cdot}$ als Kation in entgegengesetzter Richtung zur Kathode. Das blaurote Anion MnO'_4 hat dabei ⊖-Elektrizität in der einen Richtung, das farblose Kation $K^{\cdot}$ gleichzeitig ⊕-Elektrizität in der anderen Richtung durch die Lösung transportiert.

Hätten wir an Stelle des Permanganats Kupfersulfat genommen, so hätte sich die dem $Cu^{\cdot\cdot}$-Kation eigentümliche und daher vielen Kupfer-

[1]) Vgl. W. Hittorf, Wanderung der Ionen. Ostwalds Klassiker Nr. 21 u. 23.

salzen gemeinsame blaue Farbe zur Kathode hin, also umgekehrt wie die blaurote MnO_4'-Farbe, verschoben.

Die Kationen, welche positiv geladen sind, wandern also von der Anode fort zur Kathode.

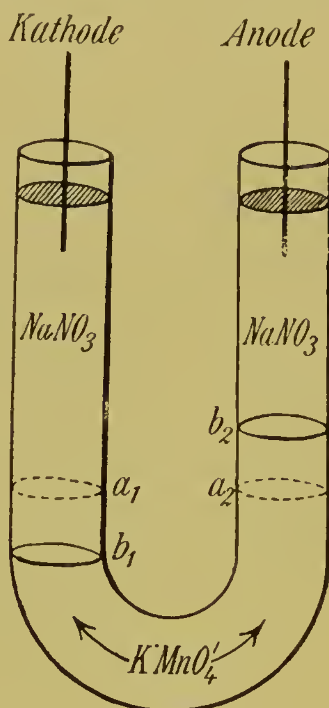


Fig. 7.

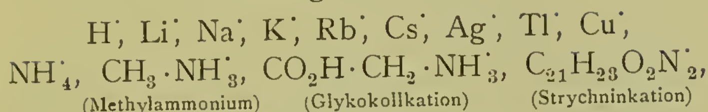
Die Anionen, welche negativ geladen sind, wandern von der Kathode fort zur Anode.

Die Arten der Ionen.

Die Kationen werden gebildet aus den metallischen Bestandteilen der Salze, zu denen wir auch das Ammoniumradikal und dessen Derivate in den Salzen organischer Basen zu rechnen haben. Dieselben besitzen pro Valenz eine positive Ladung (⊕ oder typographisch mit einem · oben bezeichnet).

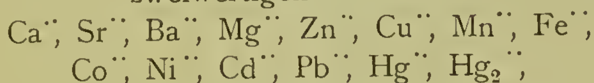
Wir kennen so z. B. die

einwertigen Kationen:



$H^{\cdot}$, $Li^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $K^{\cdot}$, $Rb^{\cdot}$, $Cs^{\cdot}$, $Ag^{\cdot}$, $Tl^{\cdot}$, $Cu^{\cdot}$,
$NH^{\cdot}_4$, $CH_3 \cdot NH^{\cdot}_3$, $CO_2H \cdot CH_2 \cdot NH^{\cdot}_3$, $C_{21}H_{23}O_2N^{\cdot}_2$,
(Methylammonium) (Glykokollkation) (Strychninkation)

zweiwertigen Kationen:



$Ca^{\cdot\cdot}$, $Sr^{\cdot\cdot}$, $Ba^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $Zn^{\cdot\cdot}$, $Cu^{\cdot\cdot}$, $Mn^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot}$,
$Co^{\cdot\cdot}$, $Ni^{\cdot\cdot}$, $Cd^{\cdot\cdot}$, $Pb^{\cdot\cdot}$, $Hg^{\cdot\cdot}$, $Hg_2^{\cdot\cdot}$,

dreiwertigen Kationen:

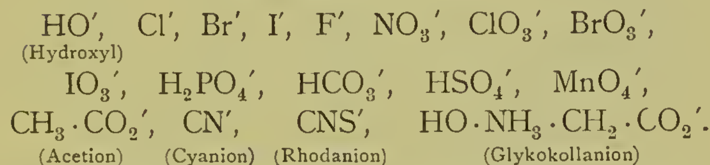


$Al^{\cdot\cdot\cdot}$, $Cr^{\cdot\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$ usw.

Die Anionen bestehen aus dem negativ geladenen Reste des Elektrolyten, welcher nach Bildung des positiv geladenen Kations übrig bleibt. Sie besitzen pro Valenz eine negative Ladung (⊖ oder typographisch mit einem ′ oben bezeichnet).

Wir kennen so die

einwertigen Anionen:



HO', Cl', Br', I', F', NO_3', ClO_3', BrO_3',
(Hydroxyl)
IO_3', H_2PO_4', HCO_3', HSO_4', MnO_4',
$CH_3 \cdot CO_2'$, CN', CNS', $HO \cdot NH_3 \cdot CH_2 \cdot CO_2'$.
(Acetion) (Cyanion) (Rhodanion) (Glykokollanion)

zweiwertigen Anionen: dreiwertigen Anionen:



CO_3'', SO_4'', CrO_4'', AsO_4''', PO_4'''.

Man kann auch die Formel der Anionen dadurch bilden, daß man von der Formel der Säure die durch Metalle substituierbaren Wasserstoffatome fortnimmt und an deren Stelle je eine negative Ladung setzt, und die Formel der Kationen analog dadurch, daß man von der Formel der Base die durch Säurereste substituierbaren Hydroxylgruppen fortnimmt und an deren Stelle je eine positive Ladung setzt.

Elektrische Ioneneinwanderung in der Elektrotherapie.

In der Medizin spielt die Erscheinung der Ionenwanderung, wie wir sie sahen, eine wichtige Rolle bei der bekannten Erscheinung der elektrischen Einführung von in Wasser gelösten Medikamenten durch die Haut, wie namentlich St. Leduc richtig erkannt[1]) hat und wofür er einen sehr anschaulichen Beweis gegeben hat. Nach dem eben gegebenen Schema ist in Strychninsalzlösungen das giftige Prinzip der Base

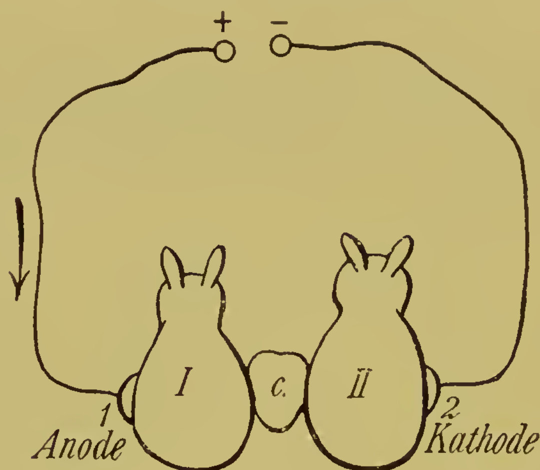


Fig. 8.

Strychnin als ⊕ geladenes Kation enthalten und muß daher zur Kathode (d. h. zum negativen Pole der Stromquelle) wandern. Es wandert daher von einer mit Strychninsulfat befeuchteten aktiven Anode fort durch die Haut in den Körper ein, nicht aber, wenn die aktive Elektrode als Kathode mit Strychninsalz benetzt auf die betreffende Körperstelle gesetzt wird.

---

[1]) Vgl. die interessante Broschüre von Leduc in Kurella und Luzenbergers Sammlung v. Abhandl. a. d. Geb. d. Elektrotherapie u. Radiologie. Heft 3, Leipzig 1905. Dieselbe ist allerdings theoretisch nicht ganz einwandfrei.

Als daher Leduc (Fig. 8) die Körper zweier lebender Kaninchen durch einen Wattebausch mit indifferenter Kochsalzlösung leitend verband und mit Hilfe zweier mit Strychninsulfatlösung getränkter „aktiver" Elektroden 1 und 2 in den elektrischen Stromkreis schaltete, ging nur das Anödentier I, in welches allein von der Anode 1 her die Strychninkationen einwanderten, zugrunde, nicht aber das Kathodentier II.

Ganz im Gegensatz dazu wandert das giftige Prinzip der sauren Blausäure in deren Salzen als ⊖ geladenes Anion CN' zur Anode (d. h. zum positiven Pole der Stromquelle) und also von der Kathode fort. Die aktive Elektrode, die man mit Cyankalium benetzt zur Einführung des CN' durch die Oberhaut in den Körper benützen will, muß also hier die Kathode sein (das gleiche gilt für das Jod-Anion I' im Jodkalium). Im Versuch Fig. 8 ging daher das Kathodentier II zugrunde, nicht aber das Anodentier I, als man an den beiden aktiven Elektroden 1 und 2 anstatt des Strychninsulfates mit seinem giftigen Kation (bei gleichbleibender Stromrichtung im ganzen Kreise) das Cyankalium mit seinem giftigen Anion CN' anwandte.

Wir werden also sagen: Stoffe, deren wirksamer Bestandteil in Lösung als Anion vorhanden ist (wie z. B. die Salze der Blausäure, der Jodwasserstoffsäure, der Salizylsäure) müssen zwecks Einführung durch Ionenwanderung an der betreffenden Hautstelle mit benetzter aktiver Kathode appliziert werden.

Stoffe, deren wirksamer Bestandteil in Lösung als Kation vorhanden ist (Beispiele: Salze von Strychnin, Kokain, Zink, Quecksilber und anderen offizinell angewandten Basen), müssen dagegen zu dem gleichen Zwecke an der betreffenden Hautstelle mit benetzter aktiver Anode appliziert werden.

Tabelle:

Analogien von	
Wasserstrom	elektrisehem Strom
Wasser fließt von Stellen höheren Druekes zu Stellen niederen Druekes;	⊕ Elcktrizität fließt von Stellen höheren Potentialcs zu Stellen niederen Potentiales (⊖ Elcktrizität fließt in umgekehrter Richtung);
Dieser Druckunterschied wird gemessen in Atmosphärcn;	Dicser Potentialunterschied wird gemessen in Volt;
Wassermenge wird gemessen in Litern;	Eletrizitätsmcnge wird gcmessen in Coulombs;
Stromstärke ist Anzahl Liter, welche pro Sekunde durch den Leiterquersehnitt wandern;	Stromstärke ist Anzahl Coulombs, welehe pro Sekunde durch den Leiterquerschnitt wandern (dic Stromstärke 1 Coulomb pro Sekunde heißt 1 Ampère, sie reduziert pro Sekunde 0,001118 g Silber, an 0,001118 g Silber haftet also 1 Coulomb);

also

Stromstärke × Sekunden = Literanzahl, welche durch den Querschnitt gewandert sind;

Arbeit = Liter × Atmosphären;

also auch

Arbeit = Stromstärke × Sekunden × Atmosphären;

Effekt = Arbeit pro Sekunde
= Stromstärke × Atmosphären;

also auch

Arbeit = Arbeit pro Sekunde × Zeit = Effekt × Zeit;

also

Ampère × Sekunden = Coulombs, welche durch den Leiterquerschnitt gewandert sind;

Arbeit = Coulomb × Volt = Joule;

also auch

Arbeit = Ampère × Sekunden × Volt;

Effekt = Arbeit pro Sekunde
= Ampère × Volt = Watt;

also auch

Arbeit = Effekt × Zeit = Watt × Sekunden = Joule;

1 Ohm = Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0^0

1 Volt = Potentialunterschied, welcher zwischen den Enden eines metallischen Leiters von 1 Ohm Widerstand herrschen muß, wenn dieser von einer Stromstärke von 1 Ampère durchflossen werden soll.

Faraday's Gesetz für den Elektrizitätstransport d. h. die Stromleitung durch Ionen.

Die Elektrizitätsmenge,[1]) welche auf den Ionen und nur mit ihnen im elektrischen Strome sich bewegt — denn wir brauchen hier keine andere Art der Elektrizitätsleitung in Lösungen von Elektrolyten als den Transport der Elektrizitätsmengen auf wandernder Materie, d. h. auf Ionen, — steht in einem ganz bestimmten Verhältnis zu der Menge Materie, welche diesen Elektrizitätsmengen als „Fahrzeug" dient. Dieses Verhältnis wird durch folgendes einfache Faraday'sche Gesetz geregelt:

Jedes Grammäquivalentgewicht irgend eines beliebigen Kations besitzt und transportiert dieselbe Menge positiver Elektrizität, nämlich je 96540 Coulombs.

Jedes Grammäquivalent eines beliebigen Anions besitzt und transportiert bei seiner Wanderung dieselbe Menge negativer Elektrizität, also auch je 96540 Coulombs.

Theorie der Nerven- und Muskelreizung durch Wechselströme nach Nernst.

Mit jeder Elektrizitätsverschiebung auf elektrolytischem Wege ist also notwendig (auch im Organismus) eine Verschiebung der materiellen Fahrzeuge der Elektrizität, also eine Ionenwanderung und somit eine räumliche Konzentrationsverschiebung der Elektrolyte verbunden. Hierauf und auf der Annahme, daß es im Organismus für gewisse Stoffe (nach

---

[1]) Da die Begriffe: Elektrizitätsmenge, Potential usw. in Laienkreisen oft unbekannt sind, so seien diese in der vorstehenden kleinen Tabelle (s. S. 158 u. 159) an der oft brauchbaren Analogie zwischen Wasserströmen und elektrischen Strömen ein wenig veranschaulicht und definiert.

Ostwald[1]) bestehen hier Unterschiede in der Durchlässigkeit für die einzelnen, verschiedenen Ionen) nur selektiv halbdurchlässige Wände und Membranen gibt, welche zwar Wasser und manche Stoffe durchlassen, gewisse andere Stoffe aber nicht, hat W. Nernst[2]) eine quantitative Theorie der elektrischen Reizung von Muskeln und Nerven aufgebaut. Nach Nernst vermag auch im organisierten Gewebe der galvanische Strom keine andere Wirkung als Ionenverschiebungen d. h. Konzentrationsänderungen zu erzeugen, diese müssen also die Ursache für die Reizwirkungen z. B. von Wechselströmen auf die Nerven sein. Damit aber die von dem Strome in Bewegung gesetzten und der zu reizenden Stelle zugeführten Ionen durch diesen nicht wieder von dort in demselben Maße weiter fortgeführt werden können, muß der Organismus eben gewisse Stauungsvorrichtungen besitzen, um diese Ionen in ihrer Wanderung an jener Stelle aufzuhalten, sodaß sie sich hier aufspeichern müssen. Solche Stauungsvorrichtungen sind eben die oben genannten im Organismus zweifellos vorkommenden halbdurchlässigen Membranen (oder andere ebenso funktionierende Gewebebestandteile oder Vorrichtungen mit selektiver Halbdurchlässigkeit), an denen Konzentrationsänderungen auftreten, weil der Strom durch Ionenwanderung dorthin Salze bzw. Ionen transportiert, deren weiterer Transport hier durch diese für sie undurchlässige Membran verhindert wird. Andere Salze, welche dieselbe Membran zu passieren imstande sind, übernehmen dafür hier die weitere Stromleitung durch die Membran hindurch.

---

[1]) Zeitschr. f. physikal. Chemie 6, 71 (1890).

[2]) Nachr. d. kgl. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen. math.-phys. Kl. 1899 S. 104; Sitzungsber. Kgl. Preuß. Akad. Wiss. Berlin 1908, 3. Pflüger's Archiv d. ges. Physiol. 122 S. 275 (1908). R. v. Zcynek, ebenda S. 94. W. Nernst und Barratt, Zeitschr. f. Elektrochem. 10, 664 (1904), vgl. auch J. Loeb, Vorlesg. über Dynamik d. Lebensersch. S. 148.

Ausgehend von solchen Vorstellungen und mit Berechnung der von einem Wechselstrom oder Stromstoß angehäuften, wenn auch durch Diffusion gleichzeitig zum Teil sich wieder zerstreuenden Salzmenge, von welcher natürlich zur Erzielung eines Reizes an einer bestimmten Stelle ein bestimmter Schwellenwert nötig ist, leitete Nernst die folgende Forderung ab: Die zur Erzielung einer bestimmten Salzkonzentration und einer damit verbundenen bestimmten Reizschwelle nötige Stromstärke ist proportional der Quadratwurzel aus der Anzahl Polwechsel in der Sekunde. Dieses Gesetz stimmt nicht nur qualitativ mit der Erfahrung an Tieren und Pflanzen, daß im allgemeinen um so höhere Stromstärken zur Erzielung eines bestimmten Reizes nötig sind, je höher die Wechselfrequenz des Wechselstromes ist, sondern es wurde auch quantitativ innerhalb gewisser Gebiete von Zeynek (l. c.) und von E. Reiß [1]) an den sensiblen Nerven der menschlichen Fingerspitzen, von J. O. W. Barratt (l. c.) und E. Reiß an motorischen Froschnerven (Ischiadicus) und von letzterem auch noch an Froschmuskeln (M. gastrocnemius) bestätigt. Ist die Wechselzahl sehr hoch (Teslaströme), so müßte also die Stromstärke auch entsprechend hoch gesteigert werden. Hierfür liegt aber schon eine gewisse Grenze in dem relativ hohen elektrischen Widerstande des Organismus. Daher sind Teslaschwingungen für den Organismus ungefährlich.[2]) Die Elektrizitätsmengen eines Stromstoßes des hochfrequenten Teslawechselstromes sind eben viel zu gering, um eine genügende Anzahl g-Äquivalente Ionen zur Erreichung der reizenden oder

[1]) E. Reiß, Pflüger's Archiv d. ges. Physiol. 117 S. 578 (1907).

[2]) Die üblichen Erklärungen, daß die Stromlinien hochfrequenter Wechselströme nicht in den Körper eindringen, sind falsch. Vgl. Nernst l. c. und Danneel ctra. Zipp, Chemiker-Zeitg. 1907, S. 422 u. 246.

gar der gefährlichen Konzentrationsschwelle heranzuschaffen. Der Teslastrom erzeugt daher hauptsächlich weniger die üblichen Zuckungen (Zeynek), sondern entwickelt nur Wärme in den Geweben, wohl infolge der Reibung der hin- und hergerüttelten Ionen. Auch für einzelne Stromstöße hat Nernst[1]) die Gültigkeit einer ähnlichen Beziehung zwischen Zeit und Reizschwelle der Stromstärke an Versuchen von Weiß und Lapicque dargelegt. Dies ist vielleicht auch nicht unwichtig mit Rücksicht auf die neue Mitteilung über Narkotisierung durch rasch unterbrochenen Gleichstrom von Leduc.[2])

Die elektrolytische Leitfähigkeit. Gesetze von Kohlrausch und Arrhenius. Dissoziationsgrad.

Die Fähigkeit eines Stoffes, den elektrischen Strom zu leiten, seine „spezifische Leitfähigkeit" definieren und messen wir als die Reziproke des Widerstandes (in Ohm gemessen), welchen ein Würfel dieses Stoffes von 1 cm Kantenlänge zwischen zwei seiner gegenüberliegenden quadratischen Seitenflächen bietet. Denken wir uns von der Lösung eines beliebigen Elektrolyten soviele solche Würfel nebeneinander „parallel" geschaltet, daß sie insgesamt ein Grammolekül des gelösten Stoffes enthalten,[3]) so nennen wir den reziproken Widerstand dieses Systemes die „molekulare Leitfähigkeit Λ_v" des gelösten Stoffes.[4]) Wir haben

[1]) W. Nernst, Pflüger's Archiv d. ges. Physiol. 122 S. 300 (1908).

[2]) Zeitschr. f. neuere physikal. Medizin 1908 S. 253 u. 279.

[3]) Von einer $^1/_{10}$ normalen NaCl-Lösung z. B. müssen wir also 10 000 solcher parallel geschalteter Würfel nehmen und der Widerstand des ganzen Systemes ist dann 10 000 mal so klein, die reziproke Größe, die molekulare Leitfähigkeit also 10 000 mal so groß, als die „spezifische Leitfähigkeit".

[4]) Man erhält also die molekulare Leitfähigkeit Λ_v eines Elektrolyten (bei einer beliebigen Verdünnung eines g-Moleküls in v Litern), wenn man die spezifische Leitfähigkeit k (des einen

ja in diesem System in der Tat so viel Lösung genommen, daß zwischen den Elektroden gerade in Summa 1 Grammolekül des gelösten Stoffes vorhanden ist. Dieses Grammolekül wird also, wenn es vollständig in Ionen zerfallen ist, den elektrischen Strom um so besser leiten, je größer die Wanderungsgeschwindigkeiten u und y des Anions und des Kations sind. Ist also das Grammolekül des gelösten Elektrolyten vollständig in Ionen zerfallen, so ist die molekulare Leitfähigkeit Λ_v gleich der Summe der Wanderungsgeschwindigkeiten des Anions und des Kations, also $\Lambda_v = u + y$ (Gesetz von Kohlrausch).

So wird also z. B. die Leitfähigkeit Λ_v eines Grammoleküls $KMnO_4$ sich zusammensetzen aus der Wanderungsgeschwindigkeit y des Kations $K^{\cdot}$ und derjenigen u des Anions MnO_4', mit welcher diese Ionen der positiven und negativen Elektrizität als Fahrzeug von einer Elektrode zur anderen dienen. Es kommt aber für die in der Zeiteinheit durch einen Leiterquerschnitt transportierte Summe aller Elektrizitätsmengen nicht bloß auf die Geschwindigkeit, sondern auch auf die Anzahl dieser ihrer Fahrzeuge an. Entspricht aber bei vollständiger Ionisation jedem Grammolekül $KMnO_4$, das wir aufgelöst haben, je ein Grammmolekül $K^{\cdot}$ und MnO_4', in welche das $KMnO_4$ ionisiert ist, so werden dagegen bei einem nur bis zu 50 Proz. gehenden Zerfall des Moleküls $KMnO_4$ in solche Ionen (also wenn der „Ionisationsgrad" oder „elektrolytische Dissoziationsgrad", der im ersten Beispiele 1 war, jetzt nur $^1/_2$ ist) pro Mol. $KMnO_4$, die man aufgelöst hatte, nur je $^1/_2$ Mol. $K^{\cdot}$ und $^1/_2$ Mol. MnO_4' dem Elektrizitätstransport zur Verfügung stehen. Wir sehen also, daß bei unvollständiger Ionisation, also wenn der

Würfel von 1 ccm Inhalt) mit 1000 v multipliziert, d. h. mit der Anzahl Würfel von 1 ccm, die man nehmen muß, um insgesamt 1 g-Mol. des gelösten Stoffes zwischen den Elektroden zu haben.

Dissoziationsgrad γ des Elektrolyten kleiner als 1 ist, das Grammolekül des Elektrolyten sich nur mit einem Bruchteil γ durch seine Ionen an der elektrischen Leitung beteiligen kann, und das obige Gesetz von Kohlrausch geht über in das Gesetz von Arrhenius

$$\Lambda_v = \gamma \cdot (u + y).$$

Nennen wir Λ_∞ die molekulare Leitfähigkeit für den Fall (der meistens bei unendlicher Verdünnung und bei den meisten Salzen, sowie bei starken Säuren und Basen schon in mäßigen Verdünnungen auftritt), daß $\gamma = 1$ wird, daß also bereits vollständiger Ionenzerfall in Lösung vorhanden ist, so erkennen wir das Gesetz Kohlrausch als Grenzfall (für $\gamma = 1$) des Satzes von Arrhenius $\Lambda_\infty = 1 \cdot (u + y)$. Aus den beiden letzten Gleichungen folgt $\gamma = \frac{\Lambda_v}{\Lambda_\infty}$. Nach Arrhenius können wir also den Dissoziationsgrad γ d. h. den Bruchteil eines Moleküls, der in Ionen zerfallen ist, ermitteln, wenn wir die molekulare Leitfähigkeit Λ_v bei der betreffenden Verdünnung dividieren durch den Grenzwert Λ_∞ bei vollständiger Ionisation. Die Leitfähigkeit eines g-Moleküls gelösten Stoffes hängt also ab von der „Summe der Ionenbeweglichkeit seiner Ionen", welche charakteristische Konstanten jedes Ions sind (Gesetz von Kohlrausch) und seinem Dissoziationsgrad γ (Satz von Arrhenius), welcher bei den guten Leitern, den sogenannten „starken Elektrolyten" d. h. bei den meisten Salzen, den sogenannten starken Säuren und Basen (HCl, HNO_3, HBr, HJ, $HClO_3$, H_2SO_4, $NaOH$, KOH, $Ba(OH)_2$) sehr groß (d. h. nahe gleich eins, weil sie vollständig in Ionen zerfallen sind) ist, bei den sogenannten schwachen d. h. merklich aber nur schlecht leitenden Elektrolyten dagegen sehr klein ist (z. B. bei schwachen Basen und Säuren, wie NH_3, HCN, H_2CO_3; $CH_3 \cdot CO_2H$; $HgCl_2$, $HgCy_2$; Wasser usw.). Der Dissoziationsgrad eines Elektrolyten nimmt im

allgemeinen mit steigender Verdünnung zu, und Ostwald hat sogar das Gesetz dieser Abhängigkeit für nicht zu starke Säuren und Basen entdeckt unter der von vielen Versuchen dann bestätigten Annahme, daß die chemischen Gleichgewichtsgesetze und der van't Hoff-Avogadro'sche Satz auf die einzelnen Ionen bei diesen Stoffen genau so anwendbar sind, wie für andere gewöhnliche Stoffe, so daß hierdurch gewissermaßen die Berechtigung nachgewiesen ist, die Ionen als chemische Individuen bis zu einem gewissen Grade zu betrachten, was besonders in der analytischen Chemie eine große Vereinfachung bedeutete, da man aus der Kenntnis von n_1 Anionenreaktionen und n_2 Kationenreaktionen die Reaktionen von $\frac{n_1 \cdot n_2}{2}$ Anionkationkombinationen d. h. Säuren, Basen und Salzen voraussagen kann, (falls in diesen die Ionen als solche erhalten bleiben).

Parallelismus zwischen chemischer Wirksamkeit und elektrischer Leitfähigkeit.

Die Ionen haben nun auch für die Chemie eine allgemeinere Bedeutung und daher auch für die Medizin, denn in einer Elektrolytlösung haben wir ja nicht mehr nur die Reaktionen des vermeintlich ungespaltenen Moleküls, sondern, meist sogar vorwiegend, auch die seiner Ionen vor uns. So hat Arrhenius gezeigt, und zwar war das die experimentelle Wurzel seiner berühmten Ionentheorie (1884), daß die verschiedenen Säuren als solche und die verschiedenen Basen als solche chemisch in äquivalenten wässerigen Lösungen um so wirksamer sind, je mehr sie in Ionen zerfallen sind. Das allen Säuren gemeinsame $H^{\cdot}$-Ion müssen wir als

den Träger ihrer sauren chemischen Eigenschaften und das allen Basen gemeinsame 'OH-Ion als den Träger ihrer basischen chemischen Eigenschaften betrachten.

So war in rohen, ersten Vergleichen bereits z. B.

	für äquivalente Lösungen von				
	HCl		$^1/_2 H_2SO_4$		Essigsäure
das Verhältnis der Leitf.	100	:	59,5	:	0,67
das Verhältnis der Geschwindigkeiten der Zuckerinversion	100	:	54	:	0,4
der Methylacetatverseifung durch Säuren	100	:	55	:	0,34

Wir sehen also, daß elektrische Leitfähigkeit und chemische Wirkung der Säuren parallel gehen. Neuere genauer vergleichbare Versuche haben auch quantitativ außerordentliche Übereinstimmung ergeben, so daß wir jetzt in der Lage sind, quantitativ aus dem Verhältnis der elektr. Leitfähigkeiten zweier Säuren oder zweier Basen auch das Verhältnis ihrer chemischen Wirksamkeit vorauszuberechnen. Auch bei der bekanntlich in saurer Lösung stattfindenden peptischen Verdauung wird es z. B. nicht gleichgültig sein, wie konzentriert das H·-Ion von der vorhandenen Säure geliefert wird. Das gleiche wie für Säuren gilt auch für den Parallelismus zwischen elektrischer Leitfähigkeit und chemischer Wirksamkeit der Basen infolge ihres gemeinsamen, charakteristischen Gehaltes an OH'-Ion.

Das Wasser zerfällt, wie seine sicher vorhandene, aber nur sehr geringe elektrische Leitfähigkeit lehrt, ein wenig nach der Gleichung $H_2O = H^{\cdot} + OH'$ in Ionen, so daß es, wie bekannt, „amphoter" ist d. h. sowohl die Eigenschaften einer Säure wie die einer Base zeigen kann, freilich nur in sehr geringem Maße, denn es leitet bei gewöhnlicher

Temperatur etwa zehnmillionenmal schlechter als HCl oder KOH, hat also nur etwa soviel saures H-Ion und basisches 'OH-Ion wie eine auf $^1/_{10\,000\,000}$ normal verdünnte Salzsäure oder Kalilauge.

Parallelismus zwischen physiologischer Wirkung und Ionenzustand der Stoffe.

Auch in der Medizin[1]) hat sich die Berücksichtigung des Ionenzustandes der Stoffe von Wichtigkeit gezeigt. Während man z. B. früher (Behring) behauptet hat, daß Lösungen verschiedener Salze des Quecksilbers die gleiche desinfizierende Wirkung ausüben, wenn sie nur gleich viel Quecksilber pro Liter enthalten, ließ die Ionentheorie voraussagen, daß dies unwahrscheinlich sei, denn die gleiche Menge Quecksilber ist, wie aus der viel geringeren Leitfähigkeit äquivalenter Lösungen und anderen Gründen hervorgeht, z. B. im Quecksilbercyanid viel weniger ionisiert als im Quecksilberchlorid. In der Tat haben Th. Paul und B. Krönig nachgewiesen, daß bei gleichem Quecksilbergehalt Lösungen des viel weniger ionisierten Cyanids viel weniger desinfizierend wirken als Lösungen von Sublimat, so daß die verschiedenen Quecksilbersalze zweifellos ihre bei gleichem Quecksilbergehalte verschiedene desinfizierende Wirkung ihrem verschiedenen Ionisierungsgrade verdanken. Das Quecksilberion ist also, was auch Beobachtungen Dreser's (1893) zeigen, das Desinfiziens, nicht jede Quecksilberverbindung schlechthin. Ebenso ist die Giftwirkung der Säuren und Basen auf die Infusorie Paramäcium nach Baratt (1904) und die der Säuren auf die Hefe nach Bial (1902) wenigstens in großen Zügen parallel ihrer elektrischen Leitfähigkeit bzw. ihrem H˙-Iongehalt.

---

[1]) Näheres siehe z. B. E. Cohen, l. c. Vorlesungen S. 182, 187, 188 u. a. Th. Paul, Zeitschr. f. Elektrochemie 7, 982, W. His, ebenda 7, 984, Ber. v. d. Hamburger Naturforscher-Versammlung 1901.

Analyse physiologischer Flüssigkeiten mit Hilfe elektrischer Leitfähigkeit.

Die elektrische Leitfähigkeit einer Lösung hängt von ihrem Ionengehalte ab, und da die Salze des Organismus alle sehr stark in Ionen zerfallen sind, die organischen Stoffe wie Eiweiß, Fette, Zucker, Harnstoff, Cholesterin, Lecithin und die roten Blutkörperchen den Strom aber nicht leiten, so kann man z. B. die leicht auszuführende Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Blutes (nach Bugarsky und Tangl, P. Fraenckel, Ocker-Blom u. a.) benützen, um den Gehalt desselben an Salzen ($K^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, CO_3'', HCO_3', HPO_4'', SO_4'', OH') festzustellen [1]) und das Verhältnis der leitenden Serumflüssigkeit zur Menge der darin suspendierten nichtleitenden Blutkörperchen.

Da ferner Salze starker Säuren wegen der kleineren Ionenbeweglichkeit ihrer Kationen geringere Leitfähigkeit besitzen als ihre Säuren, kann man z. B. die Neutralisation von HCl durch Eiweißstoffe nach Sjöquist (1895) an der Verminderung erkennen, welche die Leitfähigkeit der Säure bei Zugabe von Eiweiß erfährt. [2])

II. Die elektrolytische Zersetzung und Umwandlung.

Unterschied zwischen der Stromleitung durch Ionenwanderung und der elektrolytischen Zersetzung durch Ionenentladung an den Elektroden. Das Faradaysche Gesetz für die elektrolytische Zersetzung an den Elektroden.

Während die Erscheinung der elektrolytischen Stromleitung im Innern der Lösungen

[1]) Vgl. Cohen, l. c. S. 222; Hamburger, l. c. I 474, III 197.

[2]) Kohler, Ztschr. f. klin. Med. 1908 65, 135, Bestimmungsmethode für Eiweiß.

sich nur durch räumliche Verschiebung der Materie, durch Ionenwanderung, im allgemeinen aber ohne jede chemische Zersetzung oder Umwandlung derselben vollzieht, finden gleichzeitig an den Elektroden (und zwar im allgemeinen nur an diesen oder an ähnlich funktionierenden speziellen Vorrichtungen, wie z. B. an für Ionen undurchlässigen Membranen, sehr engen Spalten etc.[1])) elektrolytische chemische Umwandlungen und Zersetzungen statt infolge Ladung oder Entladung von Ionen an den Elektroden. Diese elektrochemische Zersetzung (Ionenentladung oder Ionenbildung und Ionenladung) spielt sich also (zum Unterschiede von der elektrolytischen Stromleitung und Ionenwanderung) im allgemeinen nur an der Grenzfläche von Elektrode und Lösung ab und kann daher nur sekundär durch allmähliche Diffusion dieser Zersetzungsprodukte auf die weitere Umgebung der Elektroden wirken.

Zur Veranschaulichung wollen wir folgendes Schema der Elektrolyse einer Salzsäurelösung betrachten: Vor der Elektrolyse haben wir z. B. zwischen Anode und Kathode (Fig. 9) im ganzen 14 Grammäquivalente Salzsäure, d. h. je 14 Grammäquivalente Chloranion Cl' und Wasserstoffkation $H^{\cdot}$ nebeneinander. Denken wir uns diese Lösung in der Mitte durch den Querschnitt a in 2 Hälften geteilt, so befinden sich vor der Elektrolyse je 7 Äquivalente Chloranion und Wasserstoffkation auf jeder Seite von a. Schalten wir jetzt den Strom an die eintauchenden Elektroden, so wandert das Anion Cl' zur Anode, das Kation $H^{\cdot}$ zur Kathode. Da die Wanderungsgeschwindigkeit y des $H^{\cdot}$-Ions etwa fünfmal größer ist als die Wanderungsgeschwindigkeit u des Cl'-Ions, wie Hittorf[2]) schon

[1]) W. Ostwald, Ztschr. f. physik. Chem. 6, 71 (1890); A. Coehn, ibid. 25, 651 (1898).

[2]) W. Hittorf, Ostwald's Klassiker der Naturw. Nr. 21 u. 23.

vor langer Zeit gezeigt hat, so tritt je 1 Äquivalent Cl'-Ion durch den Querschnitt a aus dem Kathodenraum in den Anodenraum über, während gleichzeitig 5 Äquivalente $H^{\cdot}$-Ion durch den-

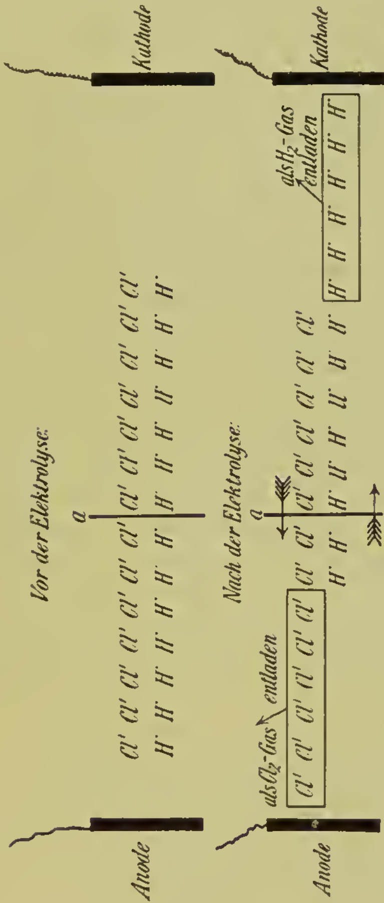


Fig. 9.

selben Querschnitt a der Lösung in entgegengesetzter Richtung vom Anodenraum in den Kathodenraum gehen. Während vor der Elektrolyse in jedem Teile der Lösung auf je 1 Äquivalent $H^{\cdot}$-Ion 1 Äquivalent Cl'-Ion kam, die Lösung also

„elektroneutral“ war, würde, wie wir (Fig. 9) sehen jetzt infolge der Ionenwanderung im Kathodenraum ein Überschuß an freien, positiv geladenen $H^{\cdot}$-Ionen und im Anodenraum ein äquivalenter Überschuß negativ geladener Cl'-Anionen auftreten, wenn nicht diese an den Elektroden überschüssigen Ionen gleichzeitig durch die dort zuströmende ⊕-Elektrizität an der Anode und die ⊖-Elektrizität an der Kathode entladen würden. Natürlich kommt es auf dasselbe hinaus, wenn man sagt, die überschüssigen freien Kationen werden durch Elektrolyse veranlaßt, ihre positive Ladung an die Kathode abzugeben, während gleichzeitig eine äquivalente Menge Anionen ihre negative Ladung an die Anode abgeben muß. So wird durch elektrolytische Entladung aus dem $H^{\cdot}$-Ion gewöhnliches Wasserstoffgas, aus dem Chlorion gewöhnliches Chlorgas, die an Kathode bzw. Anode entweichen. Nach Faraday trägt jedes Grammäquivalent eines Ions dieselbe Menge Elektrizität, nämlich 96 540 Coulombs, die also pro Grammäquivalent irgend einer elektrolytischen Ionenentladung von den Ionen an die Elektroden abgegeben (oder von diesen auf die dort durch Ladung gebildeten Ionen übertragen) werden muß. Es ist seit langem bekannt, daß im allgemeinen bei der Elektrolyse an der Anode Oxydationsprodukte, an der Kathode Reduktionsprodukte der Lösung (und eventuell auch des Elektrodenmaterials) entstehen, stets aber ist nach dem Faraday'schen Gesetze die in Summa an der Anode durch Oxydation erzielte chemische Umsetzungsmenge in Äquivalenten gleich der gleichzeitig von demselben Strome an der Kathode in Summa erzielten Anzahl Äquivalente aller Reduktionsprodukte.

Es braucht also jedes Grammäquivalent irgend einer elektrolytischen Reduktions- oder Oxydationswirkung stets (und zwar unabhängig von der Spannung, den Volts) eine und dieselbe Elektri-

zitätsmenge, nämlich 96540 Coulombs, die einem Strome entsprechen, für den das Produkt aus Ampère und der Dauer (in Sek.) 96540 (oder das Produkt aus Ampère und Stundendauer 26,8) ist. Wir erhalten also nach der Theorie z. B. durch einen Strom von 2 Ampère in 13,4 Stunden je 1 Äquivalent irgend einer elektrolytischen Umsetzung an Anode oder Kathode, ebenso wie durch einen Strom 4 Ampère in 6,7 Stunden. In unserem Beispiele wären das also 35,5 g Chlorgas an der Anode und gleichzeitig 1,008 g Wasserstoffgas an der Kathode oder aus Jodkaliumlösung durch denselben Strom in derselben Zeit 127 g Jod an der Anode, aus Kupfersulfat 32,8 g Kupfermetall, aus Silbernitrat 107,93 g Silbermetall an der Kathode, falls nur diese Stoffe allein an den betreffenden Elektroden ausgeschieden werden. Wie $H^{\cdot}$- und Metallionen bei ihrer Entladung unter Abgabe von ⊕-Elektrizität an der Kathode aus Säuren bzw. Salzlösungen gewöhnliches Wasserstoffgas bzw. die gewöhnlichen Metalle Cu und Ag usw. durch kathodische, elektrolytische Reduktion liefern, so werden umgekehrt an der Anode Wasserstoffgas und die Metalle als Anodenmaterial durch Zufuhr von ⊕-Elektrizität mit dieser beladen, d. h. „oxydiert" und als Kationen $H^{\cdot}$, $Cu^{\cdot\cdot}$, $Ag^{\cdot}$ usw. in Lösung gehen.

Ganz ebenso werden die durch Entziehung von ⊖-Elektrizität aus ihren Ionen durch „Oxydation" an der Anode entstehenden Stoffe, wie die Halogene Cl, Br, J durch Zufuhr von ⊖-Elektrizität an einer Kathode „reduziert", d. h. negativ geladen und so als Anion Cl', Br', J' in Lösung gehen.

Übersichtstabelle.

Bei der Elektrolyse ist also diejenige Elektrode	
die Anode	die Kathode
wo die (+)-Elektrizität eintritt[1]), d. h. vom Metall in die Lösung geht;	wo die (−)-Elektrizität eintritt[1]), d. h. vom Metall in die Lösung geht;
wo die (−)-Elektrizität austritt[2]), d. h. von der Lösung zum Metall geht;	wo die (+)-Elektrizität austritt[2]), d. h. von der Lösung zum Metall geht;
zu welcher die (−)-geladenen „Anionen“ hinwandern;	zu welcher die (+)-geladenen „Kationen“ hinwandern;
an welcher durch Abgabe von (−) oder Aufnahme von (+) die Anionen entladen oder Kationen gebildet werden;	an welcher durch Abgabe von (+) oder Aufnahme von (−) die Kationen entladen oder Anionen gebildet werden;
wo also „Oxydation“ geschieht.	wo also „Reduktion“ geschieht.

[1]) Diese Frage interessiert uns bei den mit Strom zu versorgenden Systemen.
[2]) Diese Frage interessiert uns an Stromquellen.

Die elektrochemischen Vorgänge an den Elektroden.

Als Beispiele für Ionenentladungen und -Ladungen an den Elektroden durch Elektrolyse seien folgende angeführt:

Entladung oder Ladung von Anionen an der Elektrode.



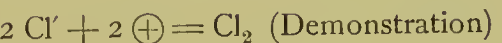
$2\,J' + 2\oplus = J_2$ (Demonstration)

oder



$2\,J' = J_2 + 2\ominus$

Von links nach rechts gelesen: Elektrolytische Jodabscheidung, wird in Gegenwart von Alkohol technisch zur Jodoformdarstellung benutzt.



$2\,Cl' + 2\oplus = Cl_2$ (Demonstration)

oder



$2\,Cl' = Cl_2 + 2\ominus$

Von links nach rechts gelesen: Elektrolytische Chlorentwicklung an Anode, findet technisch im größten Umfange bereits mit Tausenden von Pferdekräften zur Herstellung von Chlorkalk, Chloressigsäure (Indigofabr.), Bleichlaugen usw. statt.



$FeCy'''' + \oplus = FeCy'''$ (Demonstration)

oder

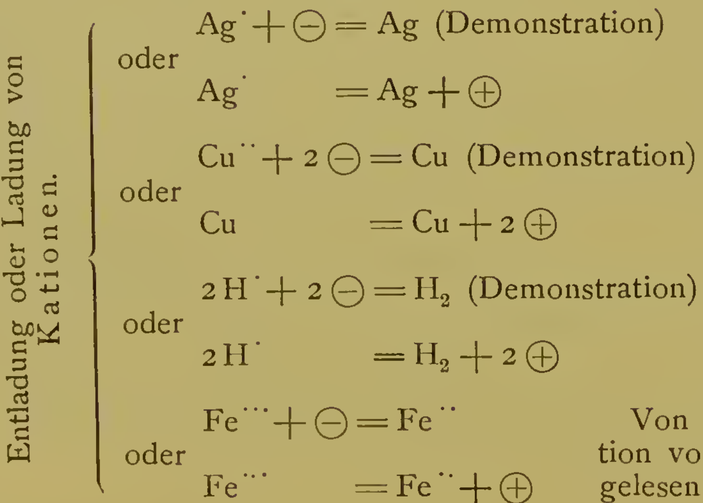


$FeCy'''' = FeCy''' + \ominus$

Von links nach rechts gelesen: Anodische Oxydation des Anions des gelben Blutlaugensalzes zum Anion des roten Blutlaugensalzes, ein technisch ebenfalls ausgeübter Prozeß.

Hier strömt also (indem der von links nach rechts gelesene Vorgang stattfindet) an der als Anode funktionierenden Elektrode positive Elektrizität zu der Lösung zu oder aus der Lösung negative Elektrizität ab, wodurch die Anionen unter „Oxydation“ entladen werden. Würde man den Strom umkehren, so würde die Elektrode also zur Kathode werden und die obigen Vorgängen würden sich an ihr in der Richtung von rechts nach links gelesen als „Reduktionen“ abspielen.

Auf dieselbe Weise sind z. B. die folgenden Vorgänge von links nach rechts gelesen elektrolytische Reduktionen, welche an der Kathode stattfinden, oder von rechts nach links gelesen elektrolytische Oxydationen, welche an den Anoden stattfinden:



Entladung oder Ladung von Kationen.

$Ag^{\cdot} + \ominus = Ag$ (Demonstration)
oder
$Ag^{\cdot} = Ag + \oplus$

$Cu^{\cdot\cdot} + 2\ominus = Cu$ (Demonstration)
oder
$Cu = Cu + 2\oplus$

$2H^{\cdot} + 2\ominus = H_2$ (Demonstration)
oder
$2H^{\cdot} = H_2 + 2\oplus$

Von links nach rechts gelesen: Reduzierende Metall-[1]) oder Wasserstoffabscheidung an der Kathode (Entladung von Kationen). Von rechts nach links gelesen: Elektrolytische Auflösung des Metalles oder des Wasserstoffgases also Oxydation an der Anode (Bildung und Beladung von Kationen).

$Fe^{\cdot\cdot\cdot} + \ominus = Fe^{\cdot\cdot}$
oder
$Fe^{\cdot\cdot\cdot} = Fe^{\cdot\cdot} + \oplus$

Von links nach rechts gelesen: Kathodische Reduktion von Ferrosalz zu Ferrisalz. Von rechts nach links gelesen: Anodische Oxydation von Ferrosalz zu Ferrisalz.

[1]) Zur Galvanoplastik, Metallraffination usw. im Großen benutzt.

Als Beispiele verwickelterer Vorgänge an den Elektroden seien diejenigen bei Ladung oder Entladung des Bleiakkumulators angeführt:

Vorgang an den Platten des Akkumulators.

$PbSO_4 + 2 \ominus = Pb + SO_4''$

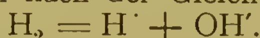
Von links nach rechts gelesen: Vorgang bei kathodischer „Ladung" bei Zufuhr negativer Elektrizität an den sog. „negativen" Bleiplatten. Von rechts nach links gelesen: Anodischer Vorgang bei „Entladung" an denselben unter freiwilliger Abgabe negativer Elektrizität aus dem Akkumulator.

$PbO_2 + 4\,H + SO_4'' = PbSO_4 + 2\,H_2O + 2 \oplus$

Von links nach rechts gelesen: Vorgang bei kathodischer „Entladung" an den braunen, „positiven" Bleisuperoxydplatten unter freiwilliger Abgabe positiver Elektrizität aus dem Akkumulator. Von rechts nach links gelesen: Der „Ladungs"vorgang an denselben bei Zufuhr positiver Elektrizität.

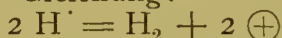
Sehr häufig findet bei der Elektrolyse wäßriger Lösungen, besonders vieler Salze der Alkalien und Erdalkalien, also auch von *tierischen Gewebeflüssigkeiten an den Elektroden* (besonders wenn diese aus „unangreifbarem" Material wie Gold, Platin, Silber, Kohle usw. bestehen) vorwiegend *nur eine Entladung der* $H^{\cdot}$*- und* OH'*-Ionen des Wassers* statt.

Das *Wasser* ist, wie bereits gesagt, merklich, wenn auch nur in sehr geringem Grade, in seine *Ionen* zerfallen nach der Gleichung:



$$H_2 = H^{\cdot} + OH'.$$

Sind nun die *anderen* Ionen der im Wasser gelösten Elektrolyte, wie z. B. $Na^{\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, SO_4'', Cl' *schwerer* entladbar (vgl. weiter unten „Zersetzungsspannung"), als die Ionen $H^{\cdot}$ und OH' des Wassers, so werden zunächst nur diese vom Strom entladen. Von diesen beiden Ionen des Wassers wird dann also an der *Kathode* das Wasserstoffion entladen nach der Gleichung:



$$2\,H^{\cdot} = H_2 + 2\,\oplus$$

und daher dort das für die Alkalien charakteristische *Hydroxylion* OH' *im Überschuß in der Lösung zurückbleiben*, welches also dann der Lösung um die *Kathode* herum *alkalische* Reaktion erteilt. (Der entstehende Wasserstoff übt häufig nebenher noch „sekundäre" reduzierende Wirkungen aus.)

An der Anode dagegen wird in solchem Falle von den beiden Ionen des Wassers nur Hydroxylion entladen nach der Gleichung:



$$2\,OH' = H_2O + \tfrac{1}{2}\,O_2 + 2\,\ominus,$$

so daß hier also das *Wasserstoffion* $H^{\cdot}$ im Überschuß in der Lösung zurückbleibt und ihr in der Umgebung der *Anode saure* Reaktion erteilt. (Der entstehende Sauerstoff übt zuweilen noch nebenher oxydierende Wirkungen, z. B. auf das Elektrodenmetall, aus.) In einem U-Rohre mit lackmushaltiger Glaubersalzlösung wird daher bei der Elektrolyse die Flüssigkeit in dem einen Schenkel, wie Sie sehen, an der Anode

rot also sauer, im anderen blau also alkalisch (Demonstration).

Dieser Vorgang, elektrolytische Entstehung von Alkali an der Kathode und elektrolytische Entstehung von Säure an der Anode, wird häufig vom Arzte als „chirurgische Elektrolyse" angewandt zur Entfernung von Haaren, Muttermalen, Angiomen, Nasenpolypen, Myomen, Fibromen, Strikturen usw., indem man auf die Haut, in Nase, Uterus, Harnröhre, Speiseröhre usw. nach Bedarf sondenförmige Elektroden als Anode oder Kathode betätigt und bald die koagulierende und blutstillende Wirkung der elektrolytisch daran entstehenden Säure oder die quellende, verflüssigende Wirkung des entstehenden Alkalis auf die Gewebe zu Heilzwecken verwendet. Es sei nochmals betont, daß solche elektrolytische Zersetzungen im allgemeinen nur in unmittelbarer Nähe der Elektroden auftreten können, nicht aber in der übrigen, entfernteren, zwischen den Elektroden liegenden Strombahn, in welcher nur elektrolytische Leitung also nur Wanderung der Ionen während der Elektrolyse, nicht aber ihre elektrochemische Entladung d. h. Zersetzung zu erwarten ist.

Elektrolytische Zersetzungsspannung. Spannungsreihe und elektromotorische Kräfte als Maß der Verwandtschaftskräfte chemischer Reaktionen.

Wenn auch jedes Grammäquivalent eines Ions, wie gesagt, nach dem Faraday'schen Gesetze die gleiche positive oder negative Elektrizitätsmenge (nämlich je 96 540 Coulombs) trägt und also daher auch jedes Grammäquivalent eines Iones zur elektrolytischen Entladung (d. h. zur elektrochemischen Umsetzung an den Elektroden) die Zufuhr einer gleichgroßen, aber entgegengesetzten Elektrizitätsmenge (näm-

lich je 96540 Coulombs) verbraucht, so ist doch die elektrische Arbeit, welche dieser elektrochemische Vorgang bei gleicher Elektrizitätsmenge verbraucht, von Ion zu Ion pro Grammäquivalent verschieden. Denn, wie wir aus einer der vorangehenden Tabellen wissen, wird die elektrische Arbeit oder Energie eines Stromes nicht durch die Elektrizitätsmenge (die Coulombs) allein gemessen, sondern durch das Produkt aus Elektrizitätsmenge $\times$ Potentialunterschied, also durch das numerische Produkt aus Coulombs $\times$ Volts. Nun ist z. B. offenbar die erforderliche Arbeit, um 1 Äquivalent Silbermetall aus wässriger Ionenlösung an der Kathode abzuscheiden, erheblich geringer, als die Arbeit, um 1 Äquivalent des viel unedleren Zinkmetalles unter sonst gleichen Umständen aus der wäßrigen Lösung metallisch zu reduzieren. Also, wenn auch die Coulombs pro Äquivalent jedes der beiden Metalle dieselben sind, muß sich die Verschiedenheit jener Arbeiten durch die Verschiedenheit der dazu an der Kathode nötigen elektrischen Potentialunterschiede oder „Spannungen“ in Volts ausdrücken. Tatsächlich braucht man auch unter sonst gleichen Umständen eine um 1,4 Volt höhere „Zersetzungsspannung“, um Zink aus einer Lösung von Zinkion abzuscheiden, als Silber aus einer äquivalenten Lösung von Silberion.

Ebenso erfordert die Entladung eines jeden Anions an der Anode eine gewisse „Zersetzungsspannung“ in Volts, so z. B. das Chlor eine um 0,83 Volt größere Spannung zur elektrolytischen Entwicklung aus einer normalen Chlorkaliumlösung als das Jod aus einer normalen Jodkaliumlösung.[1]) Um so viel unterscheiden sich

[1]) Bei gasförmigen Zersetzungsprodukten der Elektrolyse (Cl_2) muß hierbei, streng genommen, eigentlich noch ihr Druck (in Atm.), bei gelösten (I_2) ihre Konzentration (in Mol. pro lit.) angegeben werden, außerdem immer die Temperatur. Man wählt gewöhnlich 1 Atm. Druck, 1 Mol. pro lit. und Zimmertemperatur.

natürlich ihrerseits auch die elektromotorischen Kräfte[1]), mit welchen das Zink, das Silber, das Chlor, das Jod unter Lieferung des sog. Polarisationsstromes (nach einer der Reaktionsgleichungen im umgekehrten Sinne als bei ihrer Entladung gelesen) sich wieder in den Ionenzustand und damit in die Lösung zurück zu begeben suchen. Diese müssen eben bei der elektrolytischen Entladung der Ionen überwunden werden. Die Spannung, die mindestens nötig ist, um einen Elektrolyten galvanisch zu zersetzen, setzt sich also zusammen aus den Zersetzungsspannungen an der Anode und an der Kathode.[2])

So verbraucht man z. B. in einer molekularen Lösung zur Entladung des Zinkions an der Kathode 0,770 Volt, zur Entladung des Jodions an der Anode 0,520 Volt und folglich zur flotten Elektrolyse einer solchen Jodzinklösung mindestens als Summe die Zersetzungsspannung des Salzes E = 1,290 Volt.

Wie gesagt, suchen die Entladungsprodukte der Ionen, also z. B. das metallische Silber oder Zink oder das freie Chlor oder Jod oder der freie Wasserstoff und der freie Sauerstoff ihrerseits sich wieder an den Elektroden freiwillig nach den

---

[1]) D. h. die Potentialunterschiede, welche sich zwischen Lösung und Elektrode freiwillig bei ihrer gegenseitigen Berührung zu beiden Seiten ihrer Berührungsfläche einstellen.

[2]) Hat die elektrolytische Zelle außerdem noch einen gewissen Leitungswiderstand W, so kommt hierzu nach dem Ohm'schen Gesetze noch zur Herstellung der Stromstärke von J Ampère der sog. Spannungsverlust $e = JW$. Während also das Produkt aus Zersetzungsspannung E und Elektrizitätsmenge die zur Abscheidung von Zink und Jod vom Strome geleistete elcktrochemische Arbeit mißt, wird außerdem noch ein Arbeitsbetrag $eJ = J^2W$ zur Überwindung des Leitungswiderstandes der Flüssigkeit, also der Reibung derselben gegen die Wanderung der Ionen, verbraucht und kommt nur als „Joule'sche" Wärme zum Vorschein, die wie man sieht mit steigendem Widerstande W und steigendem Quadrat der Stromstärke J wächst.

früher gegebenen Reaktionsgleichungen unter Aufnahme von ⊕- oder ⊖-Elektrizität in Ionen zu verwandeln und als solche in Lösung zurückzubegeben, und so kommt auch der freiwillige Strom in den galvanischen Stromquellen den „Ketten“ zustande, welche aus diesen Stoffen an den Elektroden zusammengesetzt werden. Die Quelle der von diesen Ketten gelieferten elektrischen Stromarbeit sind eben diese freiwilligen chemischen Vorgänge an den Elektroden. Dabei kann man ebensoviel elektrische Arbeit gewinnen, als man zur Wiederentladung der sich jetzt beim Arbeiten der Kette bildenden Ionen, d. h. als man zur zwangsweisen Wiedergewinnung der Ausgangsmaterialien der galvanischen Kette, also z. B. des Zinks und des Jods aus der Lösung verbrauchen würde. Mit anderen Worten: Die elektromotorische Kraft einer galvanischen Zelle, welche an ihrer einen Elektrode z. B. freies Zink und an der anderen freies Jod als stromlieferndes Ausgangsmaterial und als Elektrolyt Jodzinklösung enthält und welche bei freiwilliger Stromabgabe aus diesen Stoffen gelöstes Jodzink, d. h. Jodion und Zinkion bildet, ist (höchstens) gerade so groß wie die entgegengerichtete Spannung, die man (mindestens) zwangweise anwenden muß, um die gebildete Jodzinklösung wieder zu zersetzen. Die elektromotorische Kraft, mit welcher also die Stoffe sich freiwillig in den („umkehrbaren“) galvanischen Ketten in Ionen verwandeln, ist mit entgegengesetztem Vorzeichen gleich ihrer Entladungs- oder Zersetzungsspannung, welche man anwenden muß, um sie wieder zurück zu gewinnen, d. h. wieder aus dem Ionenzustand zu entladen und in Freiheit zu setzen. So ist die elektromotorische Kraft einer galvanischen Kette, welche an der einen Elektrode aus Zink besteht und an der anderen Elektrode freies Jod als Ausgangsmaterial enthält und in welcher sich aus diesen Stoffen Jodzink in 1-molarer wäßriger Lösung unter Stromabgabe bildet, $E = 0{,}770 + 0{,}520 = 1{,}290$ Volt also gleich

der Summe aus der Kraft, mit welcher Zink sich freiwillig positiv ladet und in Zinkion übergeht, und aus der Kraft, mit welcher gleichzeitig an der anderen Elektrode das Jod sich freiwillig negativ ladet und in Jodion verwandelt. Diese elektromotorischen Kräfte, z. B. in der Richtung gerechnet, mit welcher sich die Stoffe als Oxydationsmittel, also kathodisch (d. h. indem sie durch den von ihnen freiwillig gelieferten Strom reduziert werden) elektromotorisch als Stromlieferanten an den Elektroden galvanischer Ketten zu betätigen suchen, also ihre „oxydierende Kraft" kann man so in Volts ausdrücken. (Ihre „reduzierende Kraft" wird dann natürlich durch dieselbe Zahl in Volts, aber mit umgekehrtem Vorzeichen d. h. anodisch gemessen.) Setzen wir konventionell die oxydierende Kraft des Wasserstoffgases (in Gegenwart einer 1-normalen H-Ionlösung als Elektrolyten, aus welcher der Wasserstoff bei kathodischer Betätigung abgeschieden wird) gleich Null, so hat man für andere Stoffe z. B. folgende „Spannungsreihe" oder „Potentialtabelle":

Mg	— 1,482	Volt	H	= 0,000	Volt
Al	— 1,276	„	J	= + 0,520	Volt
Zn	— 0,770	„	O	= + 1,23	„
Cd	— 0,420	„	Cl	= + 1,353	„
Fe	— 0,344	„			
Ni	— 0,228	„			
Pb	— 0,151	„			
Cu	+ 0,329	„			
Hg	+ 0,753	„			
Ag	+ 0,771	„			

Ein positives Zeichen bedeutet also, daß der betreffende Stoff sich neben seiner 1-normalen Ionenlösung um die angegebene Voltzahl stärker oxydierend kathodisch elektromotorisch freiwillig zu betätigen sucht, als freies Wasserstoffgas von 1 Atm. Druck oder, was dasselbe ist, daß er um ebensoviel Volt leichter an

einer Kathode [ein Kation durch Entladung, ein Anion durch Bildung] reduzierbar ist. Das negative Vorzeichen bedeutet ein um die angegebene Voltzahl geringeres oxydierendes Vermögen, also größeres reduzierendes Vermögen, als das des Wasserstoffgases. Wir haben also in diesen Spannungsreihen wahre Tabellen der chemischen Verwandtschaft in elektrischem Maße. Auch andere kompliziertere Oxydations- und Reduktionsmittel kann man ebenso wie die obigen einfachen, elementaren in diese Spannungsreihe einordnen, wenn man ihre elektromotorische Kraft mißt, mit welcher sie als Stromlieferanten eine Elektrode zur Kathode in einer galvanischen Kette machen, deren anderer Pol Wasserstoffgas von 1 Atmosphäre Druck in 1-normaler H'-Ionlösung ist.

Elektrolytische Lösungstension, Konzentrationsketten und ihre Anwendung zur Analyse physiologischer Flüssigkeiten. Acidität des Harnes und des Blutes.

Die Verschiedenheit der elektromotorischen Kräfte, mit welchen z. B. die verschiedenen Metalle Zn und Ag oder die beiden Halogene Chlor und Jod sich in den Ionenzustand in die Lösungen hinein zu begeben suchen, hat W. Nernst in einer recht anschaulichen und für die Theorie der galvanischen Ketten fruchtbaren Weise dadurch dargestellt, daß die verschiedenen, anodisch oder kathodisch in Ionen verwandelbaren Stoffe diese ihre Ionen mit sehr verschiedenen Drucken, den sog. „elektrolytischen Lösungstensionen" in die Lösung hinein entsenden, etwa wie zwei verschiedene Flüssigkeiten z. B. Äther und Wasser ihre Dämpfe in einen darüber befindlichen Gasraum mit sehr verschiedenen „Dampftensionen" schicken. Die Arbeit, welche z. B. die Metalle bei dieser Ionenentsendung in die Lösung hinein (und zwar hier

infolge des Mitschleppens elektrischer Ladungen mit den Ionen in Form eines elektrischen Stromes) freiwillig zu leisten vermögen, und damit ihre elektromotorische Kraft, mit welcher sie sich freiwillig dabei auflösen, ist natürlich um so geringer, je konzentrierter diese Metallionen schon in der Lösung vorhanden sind und ihrerseits mit ihrem osmotischen Drucke, ihrem „Verdünnungsbestreben", wieder in den metallischen Zustand zurück und also aus der Lösung wieder heraus wollen, geradeso wie die freiwillige Verdampfung von Wasser oder Äther in einen Raum hinein um so weniger Arbeit zu liefern vermag, je mehr von diesen Dämpfen in dem zu füllenden Raume bereits vorhanden ist.[1])

Von diesem Prinzip hat man eine auch für die Physiologie wichtige analytische Anwendung gemacht. Denken wir uns in Gefäß A und in Gefäß B (Fig. 10) eintauchend zwei vollständig gleiche Palladiumelektroden, welche mit Wasserstoffgas in genau gleicher Weise gesättigt sind, so wird dieser Wasserstoff in diejenige die Elektrode umspülende Flüssigkeit hinein leichter freiwillig d. h. mit um so größerer elektromotorischer Kraft unter freiwilliger Stromerzeugung seine positiv geladenen $H^{\cdot}$-Ionen entsenden können,

---

[1]) Entsprechend dieser Analogie hat Nernst für die elektromotorische Kraft (in Volt gemessen), mit welcher ein Stoff an einer Elektrode Ionen bildet, die Formel abgeleitet

$$\pi = \frac{0{,}0002\ T}{n} \lg^{10} \frac{P}{p},$$

worin n die Wertigkeit (also z. B. für Silber oder Chlor 1, Zink 2, Aluminium 3) und p den osmotischen Druck seiner Ionen, die bereits in der die Elektrode umgebenden Lösung vorhanden sind, P die „elektrolytische Lösungstension" des betreffenden Stoffes, die bei gegebener Temperatur nur von seiner Art und Dichte abhängt, und T die absolute Temperatur bedeuten.

je ärmer diese Flüssigkeit noch an solchen $H^{\cdot}$-Ionen also je weniger sauer (bzw. je alkalischer) sie ist. Befindet sich also in Gefäß A z. B. eine Säure von bekannter $H^{\cdot}$-Konzentration z. B. eine $\frac{1}{100}$ normale Salzsäure [1]), in B dagegen Blut oder Harn, welche Flüssigkeiten weniger $H^{\cdot}$-Ion pro lit. als die $\frac{1}{100}$ normale HCl enthalten, so wird nach dem eben Gesagten die $H^{\cdot}$-ionenentsendende elektromotorische Kraft der Wasserstoffpalladiumelektrode in der $H^{\cdot}$-ionenärmeren Flüssigkeit B diejenige in der $H^{\cdot}$-ionenreicheren

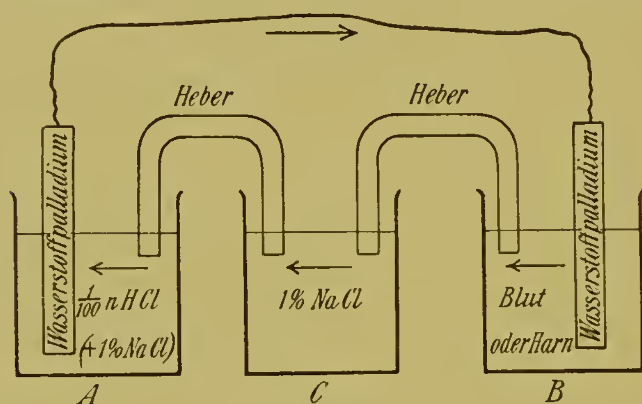


Fig. 10.

also saureren Flüssigkeit A überwiegen. Bei leitender Verbindung der Elektroden durch einen Draht und der Gefäße A u. B durch ein mit 1 proz. Kochsalzlösung gefülltes Gefäß C und die beiden Heber wird also infolge des Überwiegens der elektromotorischen anodischen Elektrodenkraft in B ein galvanischer Strom in der Richtung der Pfeile entstehen, indem das Blut (bzw. der Harn) und die Salzsäurelösung eine sog. „galvanische Konzentrationskette“ bilden in welcher sich durch

[1]) Welcher aus hier nicht näher zu erörternden Symmetriegründen 1 proz. NaCl zugesetzt ist.

die elektrolytische Wirkung des hier spontan entstehenden galvanischen Stromes ($H^{\cdot}$-Ionenbildung in B und gleichzeitige $H^{\cdot}$-Ionenentladung in A) die Unterschiede in den $H^{\cdot}$-Ionenkonzentrationen zwischen der Salzsäure und dem Blut ebenso unter freiwilliger Abgabe elektrischer Arbeit galvanisch auszugleichen suchen, wie sich Konzentrationsunterschiede zwischen zwei Gasrezipienten durch ein kommunizierendes Rohr unter arbeitsfähiger Expansion auf mechanischem Wege ausgleichen, wenn vorher die beiden Gasrezipienten mit einem Gase von verschiedener Konzentration also von verschiedenem Drucke beschickt waren. Wie bei den beiden Gasrezipienten, so hängt auch hier die pro Mol des sich dabei verdünnenden Stoffes in maximo gewinnbare Arbeit von der Temperatur und dem Verhältnis seiner beiden verschiedenen Konzentrationen in den beiden Behältern ab. Die Theorie von Nernst ergibt so für die elektromotorische Kraft E der obigen Konzentrationskette bei Zimmertemperatur in Volt gemessen:

$$E = 0{,}0577 \ \lg^{10} \frac{c_{\text{Säure}}}{c_{\text{Blut}}}$$

wo $c_{\text{Säure}}$ die bekannte $H^{\cdot}$-Ionkonzentration in der Salzsäure im Gefäß A (in unserem Beispiele $\frac{1}{100}$ Grammolekül pro lit.) und c_{Blut} die bisher unbekannte Konzentration der $H^{\cdot}$-Ionen im Blute (oder Harn) im Gefäß B bedeuten. Messen wir also die elektromotorische Kraft E dieser Konzentrationskette in Volt, so können wir daraus nach obiger Formel die bisher unbekannte Konzentration c_{Blut} der $H^{\cdot}$-Ionen im Blute (oder Harne), also die wirkliche „Ionenacidität" d. h. den wirklichen sauren Charakter dieser physiologischen Flüssigkeiten ohne störende chemische Zusätze und Eingriffe fehlerfreier bestimmen, als dies bisher beim Titrieren mit Indikatoren usw. möglich war.

In der Tat hat zuerst R. Hoeber[1]) und später mit größeren Kautelen P. Fraenckel[2]) diese elektrometrische Methode angewandt, um die Ionenacidität des Blutes und des Harnes usw., also ihren wahren sauren bzw. basischen Charakter zu messen. Es stellte sich, im Gegensatz zu bisherigen Anschauungen heraus, daß das Blut nicht erheblich alkalisch ist, sondern eine sehr annähernd ebenso neutrale Flüssigkeit ist wie reines, destilliertes Wasser.[3]) Ferner maß v. Rohrer so elektrometrisch ohne störende chemische Zusätze auch die echte Ionenacidität des Harnes und des Magensaftes, während bekanntlich die gewöhnlichen chemischen Methoden (Titration usw.) nicht die wirklich „aktuell" vorhandene Menge H˙-Ion („Ionenacidität"), also den wahren sauren Charakter, sondern auch die (z. B. aus schwachen Säuren und Eiweißsalzen) erst beim Titrieren abspaltbare, also nur „potentiell" anwesende H˙-Ionenmenge und Säuremenge mitmessen, die vor dem analytischen Eingriffe überhaupt gar nicht frei vorhanden war und erst durch die Analyse infolge weiter fortschreitenden elektrolytischen und hydrolytischen Zerfalles der schwachen Säuren und der Eiweißsalze in Freiheit gesetzt wird.[4]) Ebenso haben mit Hilfe dieser Wasserstoffkette Bugarsky und Liebermann feststellen können, wieviel Salzsäure (bzw. Alkali) von Eiweiß in Lösungen wirklich gebunden wird.[5])

---

[1]) R. Hoeber, Pflüger's Archiv 81 S. 522 (1900); 99 S. 572 (1903).

[2]) P. Fraenckel, ebenda 96 S. 601 (1903).

[3]) Dieses Resultat ist auch mit Indikatoren bestätigt worden, indem Friedenthal auch diese sachgemäß entsprechend der Ionentheorie angewandt hat.

[4]) So kann diese chemisch gemessene potentielle „Titrationsacidität" unter Umständen mit Phenolphtalein 10000 mal größer gefunden werden, als die „aktuelle", wirkliche, elektromotorisch gemessene „Ionenacidität".

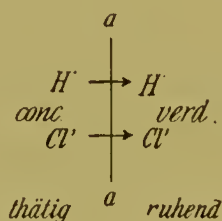
[5]) Vgl. C. Cohen, Vorlesungen l. c. S. 253.

Konzentrationsketten und spontane elektrophysiologische Aktionsströme.[1])

Die Nernst'sche Theorie der Konzentrationsketten ist aber für den Physiologen auch noch insofern von großer Bedeutung, als man mit ihrer Hilfe nach J. Loeb, Oker-Blom, Tschagowetz, Boruttau, Bernstein, Hermann u. a. auch die im Organismus spontan entstehenden elektrischen Ströme auf Konzentrationsunterschiede zwischen denjenigen verschiedenen Stellen des Organismus zurückzuführen versucht, welche die betreffenden Potentialdifferenzen zeigen. So hat bekanntlich bei der Tätigkeit der Muskeln und Nerven fast stets die tätige (oder verletzte) Stelle ein negativeres Potential gegenüber ihrer ruhenden (oder unverletzten) Umgebung. Manche führen dies darauf zurück, daß an der tätigen (oder verletzten) Stelle ein Überschuß an Säure gegenüber der Säuremenge der ruhenden oder unverletzten Stelle entsteht. Wir hätten demnach folgendes Schema (Fig. 11): links von dem Querschnitt aa befinde sich das tätige und dadurch an Säure z. B. an HCl reicher d. h. konzentrierter gewordene Gewebe, rechts vom Querschnitt aa das ruhende und daher säureärmer gebliebene Gewebe. Durch das Verdünnungsbestreben, also durch die osmotische Druckdifferenz zwischen konzentrierter und verdünnter Säurelösung werden nun sowohl die rascher beweglichen Kationen $H^{\cdot}$ wie die mit geringerer Wanderungsgeschwindigkeit begabten Anionen Cl' von links nach rechts durch den Querschnitt aa aus dem tätigen Gewebe in das ruhende getrieben. Es wird in diesem Falle also unter sonst gleichen Umständen die

[1]) J. Loeb, Vorlesungen l. c. S. 110. J. Bernstein, Naturw. Rundschau 19, 197 (1904). Boruttau in Koranyi und Richter's Physik. Chem. u. Med. (1907) I S. 454. Derselbe, Elektriz. in der Medizin u. Biologie (Wiesbaden 1906) S. 68.

positive Elektrizität auf ihren Fahrzeugen, den rasch beweglichen Kationen $H^{\cdot}$ rascher von links nach rechts, also von dem tätigen zum ruhenden Gewebe getrieben, als die negative Elektrizität auf den langsamer beweglichen Anionen Cl'. So kommt also die sog. Flüssigkeitspotentialdifferenz und eine positive



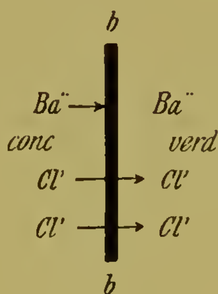


Fig. 11.

Stromrichtung von der konzentrierteren Säurelösung zur verdünnteren hin auch ohne aktive Mitwirkung von Elektroden zustande, und wird also auch bei Annahme einer Säureentstehung im arbeitenden Muskel ein elektrischer Strom von der tätigen Gewebestelle zur ruhenden hin erklärt.

Für Ionen selektiv halbdurchlässige Membranen und die Entstehung elektrophysiologischer Potentialdifferenzen, Hypothese über Galvanotropismus.

Man kann aber das Auftreten spontaner Potentialdifferenzen im Organismus, besonders zwischen den beiden Seiten einer Zellmembran (Ektoplasma, Nervenscheiden usw.) auch bei gleicher Wanderungsgeschwindigkeit von Anion und Kation, wie sie bei manchen Salzen vorliegt, weiter auch durch einen Gedanken erklären, den wie gesagt zuerst W. Ostwald (l. c. 1890) ausgesprochen hat, daß es nämlich künstliche Wände, besonders aber auch natürliche Membranen oder ähnliche Systeme im Organismus gebe, welche nur für das eine Ion eines Elektrolyten, z. B. für das Anion durchlässig sind, aber nicht für das andere Ion z. B. das Kation desselben Elektrolyten. So ist z. B. eine Ferrocyankupfermembran wohl durchlässig für Cl'-Ion, nicht aber für $Ba^{\cdot\cdot}$-Ion. Trennt man also durch eine solche Ferrocyankupfermembran bb eine konzentrierte $BaCl_2$-Lösung von einer verdünnten, so wird die vorhandene osmotische Druckdifferenz zwischen Außen- und Innenflüssigkeit (oder allgemeiner gesagt das Verdünnungsbestreben der beiden Ionen) zunächst nur die Cl'-Ionen, welche mit ihrer negativen Elektrizität beladen sind, von der konzentrierten nach der verdünnten Seite durch die Membran hindurch (in Fig. 11 von links nach rechts) treiben können. Es wird sich also auf diese Weise in der verdünnteren $BaCl_2$-Lösung ein Überschuß von Cl'-Ionen mit ⊖-Elektrizität und in der konzentrierteren $BaCl_2$-Lösung ein Überschuß von zurückgebliebenen $Ba^{\cdot\cdot}$-Ionen mit ⊕-Elektrizität anhäufen, die, obwohl durch die Wand bb getrennt, noch aufeinander eine elektrostatische Anziehung ausüben werden, so daß sehr bald die weitere Trennung durch Diffusion

aufhört und diese daher chemisch kaum nachweisbar klein bleibt. Es muß sich aber jedenfalls so eine „elektrische Doppelschicht" derart ausbilden, daß die an die konzentriertere Lösung grenzende Wandseite bb durch den Überschuß an Ba˙˙-Ion positiv geladen ist gegen die an die verdünnte Lösung grenzende Wandseite bb mit ihrem nunmehrigen wenn auch geringen Überschuß an Cl′-Ion. Diese Theorie der für die einzelnen Ionen selektiv halbdurchlässigen Wände haben z. B. auch A. Coehn und W. Barratt[1]) zu einem Versuche benützt, um den Galvanotropismus von Mikroorganismen wie z. B. der

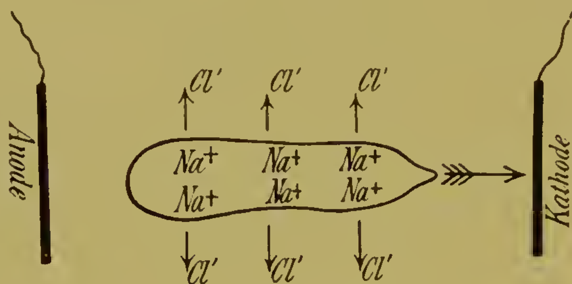


Fig. 12.

Infusorie Paramaecium zu erklären. Sie nehmen an, daß die Protoplasmahülle des Infusoriums für Cl′-Ion leicht durchlässig, für das positiv geladene Na˙-Ion aber nicht durchlässig sei. Dann kann also das im Zellsaft jedenfalls vorhandene Cl′-Ion zwar in das das Infusorium umgebende Cl′-ärmere Wasser hinausdiffundieren (Fig. 12), das gleichzeitig im Zellsaft eventuell vorhandene Na˙-Ion aber nicht. Das Tier wird durch diesen so zurückbleibenden Überschuß an positiv geladenen Na-Kationen positiv geladen. Infolgedessen müsse es in einem elektrischen Potentialgefälle zwischen zwei Elektroden wie jeder positiv geladene Körper in

[1]) Zeitschr. f. allgem. Physiologie 5, 1. Heft (1905).

der Richtung des Stromes zur Kathode gezogen werden und folgt diesem Zuge, wie in der Tat der kathodische Galvanotropismus dieses in der Figur 11 schuhsohlenförmig gezeichneten Infusoriums lehrt.

Nach Coehn und Baratt ist auch der Einfluß von Zusätzen zu dem umgebenden Wasser, wie z. B. von Kochsalz, Zucker usw. ein der obigen Theorie entsprechender.[1])

Die selektive Durchlässigkeit von Organismen für gewisse Ionen haben Hamburger[2]) Koeppe und R. Hoeber auch bei den roten Blutkörperchen beobachtet[3]), welche in Gegenwart von Kohlensäure für Anionen durchlässig sind, so daß diese durch Diffusion in eine sehr verdünnte (0,02 Proz.) Kochsalzlösung auswandern und der im Blutkörperchen zurückbleibende Überschuß von Kationen dieses mit positiver Ladung versieht. Das in der Flüssigkeit suspendierte Blutkörperchen wandert daher, wie Hoeber gezeigt hat, zwischen zwei Elektroden in die Strombahn gebracht zur Kathode.[4]) Damit sind wir aber bereits in ein anderes Gebiet der Elektrochemie geraten, nämlich zu der elektrischen Wanderung von Suspensionen in Flüssigkeiten (elektrische Kataphorese) oder von Flüssigkeiten

---

[1]) Es soll aber nicht verschwiegen werden, daß von anderer biologischer Seite im Gegensatz zu dieser Theorie Einwände und ganz andere Deutungen der Erscheinung gemacht sind, bezüglich deren auf die Literatur verwiesen werden muß. Vgl. P. Statkewitsch, Naturwiss. Rundschau 21, 530 (1906); H. Nagai ebenda 22, 18 (1907); J. Loeb, Vorlesungen l. c. S. 217 u. f.; F. Bancroft, Pflüger's Archiv 107, 535.

[2]) Vgl. J. Hamburger, Osmot. Druck u. Ionenlehre i. d. Medizin I 252.

[3]) R. Hoeber, Physik. Chem. d. Zelle (2. Aufl.) S. 303 u. Pflüger's Archiv d. Physiol. 101, 607; 102, 196 (1904).

[4]) Über die unter anderen Bedingungen recht komplizierten Verhältnisse, unter denen sogar Vorzeichenwechsel der Ladung und Wanderung der suspendierten Blutkörperchen zur Anode eintritt, siehe Hoeber l. c.

in kapillaren Räumen und porösen Diaphragmen (elektrische Endosmose).

III. Elektrische Endosmose und Kataphorese.

Die elektrische Endosmose.

Eine seit langen Zeiten bekannte Erscheinung ist folgende: Setzt man zwischen Anode und Kathode eines mit schwach leitender Flüssigkeit gefüllten Bades ein poröses Diaphragma, so wird bei nicht zu kleinen, mittels einer Stromquelle an die Elektroden angeschalteten Potentialdifferenzen der flüssige Inhalt des Bades von einer eigenartigen Wirkung des Stromes mit einem gewissen Drucke von der einen Seite des Diaphragmas durch die Poren desselben hindurch auf die andere Seite des Diaphragmas getrieben (und. zwar in wäßrigen Lösungen meistens in der Richtung des positiven Stromes, also aus dem Anodenraum in den Kathodenraum hinein).

Versuch: Wir sehen diese Erscheinung (Fig. 13) an diesem Diaphragma, welches hier in Form einer oben dicht verschlossenen, aber mit offenem Steigrohr s und einer zylindrischen Kupferkathode k versehenen gewöhnlichen, unglasierten, porösen Tonzelle B vorliegt. Dieselbe ist mit einer verdünnten Kupfervitriollösung gefüllt und taucht in ein Becherglas A, welches mit der gleichen Kupfervitriollösung beschickt ist und die zylindrische Kupferanode aa enthält. Sobald wir den Strom schließen, sehen wir die Flüssigkeit durch die porösen Wände β der Tonzelle hindurch mit einem gewissen Drucke von A nach B zur Kathode hinströmen, so daß die so in der Tonzelle vermehrte Flüssigkeit in dem Steigrohr s in die Höhe gepreßt wird.

(Da man bei dieser Erscheinung aufs Lebhafteste an die im Anfang dieses Vortrages geschilderten osmotischen Phänomene mit halbdurchlässigen Membranen erinnert wurde, hat man sie „elektrische Endosmose" genannt, obwohl hier die unveränderte Lösung, also Lösungsmittel plus Gelöstes zusammen durch die für beide ganzdurchlässige Wand dringen und nicht, wie bei den früheren rein osmo-

tischen Erscheinungen, durch besondere selektive Eigenschaften einer echten halbdurchlässigen osmotischen Membran eine Trennung zwischen gelöstem Stoffe und Lösungsmittel stattfindet.)

Der Druck, mit welcher die Flüssigkeit infolge jener „elektroendosmotischen Wirkung" des Stromes beim obigen Versuche durch das Diaphragma hindurchgepreßt wird, erwies sich nach den klassischen Untersuchungen von G. Wiedemann u. a. als proportional der

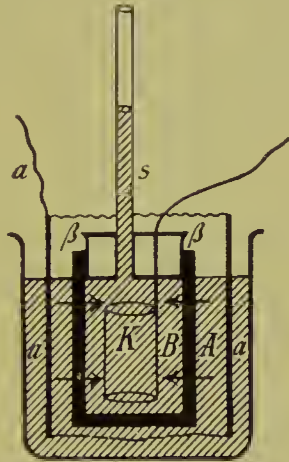


Fig. 13.

Stromstärke, dem spezifischen Leitungswiderstande der Flüssigkeit, der Wandstärke des Diaphragmas und umgekehrt proportional zu dessen Querschnitt oder, was dasselbe ist, proportional der durch den angeschalteten Strom erzeugten Potentialdifferenz zwischen Außen- und Innenseite des Diaphragmas.

Diese Erscheinung hat nichts Direktes mit der Elektrolyse zu tun und findet vielmehr, wie besonders G. Quincke, H. v. Helmholtz und Dorn gezeigt haben, ihre Erklärung darin, daß zwei aneinandergrenzende Medien, wie

z. B. Wasser und Ton, wie sie in einer Röhre oder in den Poren unserer Tonzellenwand miteinander in Kontakt sind, sich an ihrer Berührungsfläche stets von selbst mit entgegengesetzter Elektrizität laden, so daß z. B. das Wasser sich positiv und der Ton negativ elektrisch ladet. Bringt man dieses System in ein Potentialgefälle, also z. B. zwischen die Elektroden eines galvanischen Stromes, so muß das positiv geladene Medium also das Wasser in der Richtung des positiven Stromes also in der Richtung nach der Kathode hin mechanisch gezogen werden und der negativ geladene Ton in entgegengesetzter Richtung zur Anode hin, falls auch er mechanisch frei beweglich ist.

Die elektrische Kataphorese.

Freie mechanische Beweglichkeit hatte aber in unserer obigen Versuchsanordnung Fig. 13 nur die wäßrige Flüssigkeit. Der Ton erhält sie bei einer anderen einfacheren Versuchsanordnung, bei welcher wir die Tonzelle zu feinem Pulver zerstampfen und in der wäßrigen Flüssigkeit in einem Glase zwischen zwei Elektroden suspendieren. Dann werden wir die sog. „elektrische Kataphorese" der suspendierten Tonteilchen wahrnehmen, d. h. wir werden nämlich sehen, wie die suspendierten Pulverteilchen jetzt ihrerseits (im Gegensatz zu der im vorigen Versuch kathodisch wandernden Flüssigkeit) durch den elektrischen Strom zur Anode hingetrieben werden und an diese sich dort zuweilen mit großer Gewalt festsetzen, so daß an der Anode das Wasser aus dem Pulverbrei förmlich ausgepreßt und dieser so unter Wasser durch elektrische Endosmose förmlich entwässert wird.

Von dieser Erscheinung wird sogar neuerdings durch die patentierten Verfahren des Grafen

B. Schwerin Gebrauch gemacht, um aus schlammförmigen Massen, wie Torfschlamm, Seeschlick usw., aus welchen das Wasser durch gewöhnliche Pressen infolge der schleimigen Konsistenz dieser Massen nicht zu entfernen ist, die festen wertvollen Bestandteile wie den brennbaren Torf oder die stickstoffhaltigen Materialien des Seeschlicks von dem Wasser auf elektroosmotischem Wege (Demonstration) zu befreien.

Auch die Kolloide [1]) sind solche innige, mechanische Gemenge zweier Medien und keine echten homogenen Lösungen. Eine solche kolloide

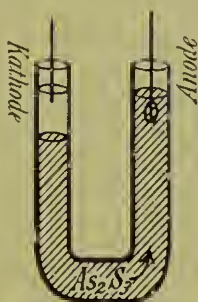


Fig. 14.

Lösung, wie die des Schwefelarsens, des Silbers, des Quecksilbers, des Goldes, des Eisenoxyds usw., ist nichts anderes als eine Suspension (nicht Lösung) äußerst feiner, meist nur mit dem Ultramikroskop nachweisbarer kleiner Teilchen dieser Substanzen im Wasser. Wir werden uns daher nicht wundern, wenn auch diese suspendierten, ultramikroskopischen Kolloidteilchen ebenso wie die Tonteilchen die Erscheinung der elektrischen Kataphorese zeigen und je nach dem Vorzeichen ihrer elektrischen Ladung gegenüber dem Wasser

---

[1]) Allgemeines über Kolloide, vgl. R. Hoeber l. c. Physik. Chemie der Zelle sowie A. Müller, Allgemeine Chemie der Kolloide, Leipzig 1907 bei Barth. Sowie Zeitschr. f. Chemie u. Industrie der Kolloide Bd. I u. II, Dresden. Ferner Referat von H. Aron, Biochem. Centralblatt III u. IV.

im elektrischen Strome zur Anode oder zur Kathode wandern. [1])

Versuch: Kataphorese kolloiden Schwefelarsens: Wir sehen hier, wie sich nach Anschaltung des elektrischen Stromes die vorher in beiden Schenkeln des U-Rohres (Fig. 14) gleichmäßig von kolloidem As_2S_3 gelb getrübte Flüssigkeit sich um die Kathode herum vollständig entfärbt und klärt, indem die negativ gegen Wasser geladenen, suspendierten, äußerst kleinen gelben As_2S_3-Teilchen im Strome durch die elektrische Kataphorese zur Anode hingetrieben werden und sich dort in Flocken zusammenballen und festsetzen.

Stromrichtung und Wanderungssinn bei elektrischer Endosmose und Kataphorese.

Der Wanderungssinn einer Flüssigkeit durch ein Diaphragma bei elektrischer Endosmose oder der suspendierten Teilchen in einer Flüssigkeit bei elektrischer Kataphorese wird also nach obiger Theorie von G. Quincke und Helmholtz u. a. abhängen von dem Vorzeichen der Ladung, welche die Flüssigkeit gegen die Wand des Diaphragmas oder der Poren, welche sie durchdringt, annimmt, oder von dem Vorzeichen der Ladung, welche die suspendierten Teilchen gegen das umgebende Medium besitzen. Hier nützt häufig eine von A. Coehn aufgestellte Regel (obwohl sie nicht ohne Ausnahmen und nur für schlecht oder nichtleitende Medien brauchbar ist), daß im allgemeinen von zwei Medien dasjenige mit der höheren Dielektrizitätskonstante [2]) sich positiv gegenüber dem anderen lädt. Da Wasser eine höhere Dielektrizitätskonstante hat, als fast alle anderen festen oder flüssigen Stoffe, so ist Wasser oder eine wäßrige Lösung meist positiv gegen-

[1]) Vgl. A. Müller, l. c. S. 42.

[2]) Die Dielektrizitätskonstante D eines Mediums gibt an, wievielmal mehr Coulombs ein Kondensator zur Aufladung auf dieselbe Potentialdifferenz zwischen seinen Platten braucht, wenn er mit dem betreffenden Medium als Isolator gefüllt ist, als wenn er mit Luft gefüllt ist.

über den anderen angrenzenden Medien geladen. Es ladet sich daher gegen den Ton der Diaphragmen und wohl auch gegen die halbfesten oder gallertartigen Bestandteile des Organismus und der Gewebe positiv und wandert daher bei der elektrischen Endosmose zur Kathode.

Auch in der medizinischen Anwendung des elektrischen Stromes zur Einführung von Medikamenten (oder bei elektrischer Entwässerung von Geweben) kann daher die elektrische Endosmose neben der früher besprochenen elektrolytischen Ionenwanderung eine Rolle spielen, indem die menschliche Haut zuweilen die Rolle des Diaphragmas übernimmt. Durch die Haut hindurch wird dann also wohl meistens von der Anodenseite her mit aufgesetzter „aktiver" Anode die diese und die Haut benetzende, einzuführende Medikamentflüssigkeit in das (daher meist wohl seinerseits als Kathodenraum angewandte) Innere des Körpers und der Gewebe eingeführt, falls wirklich Kataphorese oder richtiger elektrische Endosmose im Spiele ist. Auch die einseitige Darmresorption ist gelegentlich hypothetisch als eine von spontanen elektrischen Kräften des Organismus erzeugte Elektroendosmose gedeutet worden.[1])

Die meisten in Wasser grob oder kolloid-ultramikroskopisch fein suspendierten Stoffe wandern, da ihnen gegenüber das Wasser auch meist positive Ladung hat, sie selbst also negative Ladung besitzen, zur Anode. Solche Stoffe sind z. B. die kolloiden Metalle (im Gegensatz zu ihrer elektrolytischen Wanderung als Kationen), wie Silber, Gold, Platin, Quecksilber, ferner die Schwefelmetalle, Chlorsilber, Kieselsäure, Zinnsäure, Wolframoxyde, Ton, Baumwolle, Stärkekörnchen, Farbstoffe wie Eosin, Fuchsin, Harze wie Mastix usw. und viele in Wasser als Emulsion verteilte Flüssigkeiten und auch Gasbläschen.

---

[1]) Vgl. R. Hoeber, Pflüger's Archiv 101, 612 (1904).

Zur Kathode hingegen wandern durch Kataphorese die kolloiden Teilchen von Eisenhydroxyd, Aluminiumhydroxyd, Farbstoffe wie Methylviolett, Methylenblau, Magdalarot usw. Interessant ist die Tatsache, daß die Wanderungsrichtung der suspendierten Teilchen und Kolloide sehr häufig durch Zusatz sehr geringer Mengen gelöster Stoffe zum Wasser total umgekehrt werden kann. So wandert z. B. Eiweiß in schwach angesäuertem Wasser nach Hardy kataphoretisch zur Kathode, in schwach alkalischem Wasser aber zur Anode. Dazwischen gibt es eine nahezu neutrale Reaktion des Wassers, bei welcher das Eiweiß gar keine Kataphorese zeigt, also vermutlich auch keine elektrische Ladung gegen das umgebende Wasser besitzt.[1])

Beziehung der Koagulation und Ausflockung von Kolloiden und Suspensionen zu ihren elektrischen Eigenschaften.

Besonders wichtig ist die durch zahlreiche ausführliche Forschungen der letzten Jahre festgestellte Tatsache, daß die allgemeinen Eigenschaften der Suspensionen, Emulsionen und Kolloide in enger Beziehung stehen zu ihren elektrischen Eigenschaften.

---

[1]) Gewarnt sei ausdrücklich vor der Verwechslung der elektrolytischen Ionenwanderung der Stoffe, wie wir sie im Kapitel I gesehen haben, mit der hier in Kapitel III besprochenen elektrischen Kataphorese. Während es sich bei jener um die Wanderung homogen gelöster Materie in klarer Lösung handelt, wobei das Verhältnis der gewanderten Ionenmengen (in chemischen Äquivalenten) zur gleichzeitig verbrauchten Elektrizitätsmenge (in Coulombs) durch das früher erwähnte Faraday'sche Gesetz geregelt ist, handelt es sich bei der elektrischen Kataphorese um den Transport nicht gelöster, sondern nur suspendierter, wenn auch bei vielen Kolloiden oft ultramikroskopisch kleiner Teilchen, deren gewanderte Menge nicht nach dem Faraday'schen Gesetze durch die gleiche Elektrizitätsmenge (in Coulombs) pro Grammäquivalent bestimmt ist.

Gegenseitige Ausflockung von entgegengesetzt geladenen Suspensionen oder Kolloiden: So ist z. B. durch Arbeiten von H. Picton und S. E. Linder, W. Biltz u. a.[1]) bekannt, daß zwei kolloide Flüssigkeiten im allgemeinen beim Vermischen sich nur dann gegenseitig ausfällen, wenn ihre Teilchen entgegengesetzte elektrische Ladungen besitzen, wenn sie also bei der elektrischen Kataphorese im entgegengesetzten Sinne, also zu verschiedenen Polen wandern. Dagegen fällen sich gleichsinnig geladene Kolloide, welche also bei der Kataphorese zu demselben Pole hinwandern, im allgemeinen (bei Ausschluß chemischer Komplikationen) gegenseitig nicht aus. So wandert bei der Kataphorese z. B. „Goldhydrosol", d. h. kolloides Gold zur Anode, ist also ein negativ geladenes Kolloid; dagegen wandert kolloides Eisenhydroxyd bei der Kataphorese zur Kathode, ist also ein positiv geladenes Kolloid. In der Tat geben kolloide Gold- und Eisenhydroxydflüssigkeit beim Vermischen eine Fällung, die aus beiden Stoffen besteht. Diese neutralisieren also vermutlich beim Vermischen ihre entgegengesetzten Ladungen bzw. haften mit denselben aneinander und bilden so zusammen einen Niederschlag, den man auch als „Absorptionsverbindung" der beiden sich gegenseitig ausfällenden Kolloide bezeichnet. In der Tat ist diese gegenseitige Fällung am vollständigsten, wenn die Mischung der beiden Kolloidflüssigkeiten in einem bestimmten optimalen Mengenverhältnis erfolgt, doch dürfte dasselbe schwerlich ein solches nach den üblichen chemischen Äquivalentgewichten sein. (Daher sind diese „Absorptionsverbindungen" auch durchaus nicht mit den gewöhnlichen chemischen

---

[1]) Vgl. A. Müller, l. c. S. 76; W. Biltz, Med. naturw. Arch. I 267, 345 (1907).

Verbindungen gleichzusetzen, obwohl hier natürlich gewisse Ähnlichkeiten mit der gewöhnlichen chemischen Fällung, z. B. des positiv geladenen $Ba^{\cdot\cdot}$-Ions durch das negativ geladene SO_4''-Ion unter Bildung des bekannten Niederschlages $BaSO_4$ vorliegt. Aber während hier homogen gelöste Stoffe miteinander nach den üblichen chemischen Äquivalentgewichten chemische Verbindungen in Form von Niederschlägen liefern, treten in jenem Falle eben nur suspendierte Teilchen zu einem chemisch viel weniger scharf definierten Niederschlage, eben der sog. „Absorptionsverbindung" zusammen.)

Im Gegensatz zum Falle kolloides Gold-Eisenhydroxyd wird Gold von einem gleichsinnig geladenen Kolloid, wie z. B. kolloidem Platin nicht gefällt und ebensowenig kolloides Eisenhydroxyd von den anderen, gleichsinnige Kataphorese zeigenden Kolloiden.

Ausflockung von Suspensionen und Kolloiden durch Elektrolyte: Interessant ist auch das Verhalten von Suspensionen und Kolloiden gegen Elektrolyte: Es ist schon sehr lange, durch Untersuchungen von Th. Scheerer (1851), F. Schulze (1866), Schloesing, A. Mayer u. a. bekannt, daß sehr feine, sich nicht oder sehr langsam absetzende Kaolin- oder Tonsuspensionen in Wasser usw. durch Zusätze von Salzen oder Säuren zum Wasser rasch ausgeflockt werden. C. Barus und G. Bodlaender[1]) haben dann festgestellt, daß diese Ausflockung durch solche Zusätze geschieht, welche wie die Salze, Basen und Säuren Elektrolyte sind, nicht aber im allgemeinen durch Nichtelektrolyte, wie Alkohol, Zucker, Aceton usw. Auch zeigte der Schwellenwert, bei welchem ein Zusatz eben Ausflockung bewirkte, einen deutlichen Zusammenhang mit seiner elektrischen

---

[1]) Vgl. A. Müller, l. c. S. 59.

Leitfähigkeit. So bewirkt die gut elektrisch leitende Salzsäure schon in Spuren zugesetzt die Ausflockung der Kaolinsuspension, während die viel weniger stark ionisierte Oxalsäure in viel größerer Konzentration zugesetzt werden muß, um dieselbe Ausflockung des Kaolins zu bewirken. Ganz dieselben Verhältnisse sind auch für die ultramikroskopischen Suspensionen, die Kolloide, von F. Schulze, Spring, Linder und Picton, Lottermoser, Freundlich u. a.[1]) beobachtet worden. Auch diese werden durch Zusatz gewisser Elektrolyte koaguliert und ausgeflockt, und hierfür hat sich auch eine merkwürdige elektrische Gesetzmäßigkeit herausgestellt, welche man nach Hardy in folgende „Fällungsregel" zusammenfassen kann:

Das Fällungsvermögen eines Elektrolyten ist durch die Wertigkeit eines seiner Ionen bestimmt. Das hierfür vorherrschende Ion ist entweder das negative oder das positive, je nachdem die kolloidalen Teilchen sich bei der Kataphorese zur Kathode oder zur Anode bewegen. Das koagulierende Ion hat immer entgegengesetzte Ladung zum suspendierten bzw. kolloiden Teilchen.

So ist also für das bei der Kataphorese zur Anode wandernde, also negativ geladene kolloide Schwefelarsen die fällende Wirkung zugesetzter Elektrolyte um so stärker, je höherwertig das positiv geladene Ion derselben, also das Kation ist. Daher ist hier die ausflockende Wirkung der dreiwertigen Aluminiumsalze mit dem dreiwertigen Kation $Al^{\cdots}$ mehrere hundertmal stärker als die ausflockende Wirkung des Jodkaliums mit dem nur einwertigen Kation $K^{\cdot}$. Für die Ausflockung der zur Anode wandernden, also negativ geladenen Kolloide wie Pt, Au, Ag, As_2S_3 usw.

---

[1]) Vgl. A. Müller, l. c. S. 48.

durch Zusatz von Säuren ist also in der Hauptsache der Gehalt dieser Säuren an ihrem positiven H˙-Kation maßgebend, für die Ausflockung der zur Kathode wandernden, also positiv geladenen Kolloide durch Basen deren Gehalt an ihrem negativen 'OH-Anion. Übrigens geht bei der Ausflockung das koagulierende Ion meistens in nachweisbaren Mengen mit in den Niederschlag. Ein ähnlicher koagulierender und ausflockender Einfluß von Kolloiden und Elektrolyten, der übrigens mannigfachen Komplikationen unterworfen ist, besteht auch für Bakteriensuspensionen, quellbare Substanzen, eiweißhaltige Flüssigkeiten usw. und hat deshalb ein eifriges Studium durch Chemiker, Biologen und Mediziner (Zangger, Landsteiner, Hofmeister, Pauli, Bechold, M. Neißer und U. Friedemann, W. Biltz, V. Henri u. a)[1]) gefunden, besonders weil man auch einen Zusammenhang der in diesem Kapitel geschilderten Erscheinungen mit denjenigen bei Immunserum, Präzipitinen usw. vermutet hat.

Auch die elektrischen Ladungen der Radiumstrahlen sollen nach V. Henri und A. Mayer unter Umständen gewisse Kolloide und Suspensionen zur Ausflockung bringen.[2])

Kapillarelektrische Erscheinungen.

Vermutlich hängen die im vorangehenden Abschnitt geschilderten Erscheinungen mit Veränderungen zusammen, welche auf der Oberfläche

---

[1]) Vgl. A. Müller, l. c. S. 80—81, 61, 68 usw., sowie die hübschen Broschüren: H. Freundlich, Kapillarchemie und Physiologie. Dresden 1907; W. Pauli, Beziehungen der Kolloidchemie zur Physiologie. Leipzig 1906; Dasselbe auch im Auszug in der Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide I, 101 (1906); W. Biltz, Medic. Naturw. Arch. I S. 267 u. 345 (1907); siehe aber auch Arrhenius, Immunochemie (1907) und M. Jacoby, Immunität und Disposition (1906).

[2]) Vgl. A. Müller, l. c. S. 82.

der suspendierten Teilchen durch den Strom oder durch den Zusatz eines zweiten Kolloids oder eines Elektrolyten hervorgerufen werden. An jeder Grenzfläche zwischen zwei Medien, also z. B. auch zwischen dem suspendierten Teilchen und dem umgebenden Wasser, herrscht eine Kraft, welche diese Grenzfläche zu verkleinern sucht, die sog. „Oberflächenspannung“ zwischen den beiden Medien, wie sie sich z. B. auch an einem Quecksilbertropfen unter Wasser zeigt, indem sich derselbe unter Abrundung möglichst kugelförmig zusammenzuziehen sucht. Gegen diese Kraft sind meist andere Kräfte tätig, welche (wie z. B. die Erdschwere einen Quecksilbertropfen abplattend) ihrerseits die Oberfläche vergrößern. So z. B. suchen die geschilderten entgegengesetzten elektrischen Ladungen, welche, wie gesagt, im allgemeinen stets spontan an der Grenzfläche zweier sich berührender Medien auftreten, ihre Ladedichte möglichst zu verkleinern und daher die Grenzfläche möglichst auszudehnen, bis ein Gleichgewicht zwischen der die Grenzfläche kontrahierenden Wirkung der Oberflächenspannung, welche durch geringe Zusätze gewisser Stoffe zum einen Medium z. B. zum Wasser oft enorm verändert wird, und der natürlichen oder erst künstlich erzeugten, die Fläche dehnenden elektrischen Ladung eintritt.

So kommt das folgende, dem sog. „Kapillarelektrometer“ zugrunde liegende kapillarelektrische Phänomen zustande: In ein Gefäß AA, welches mit Schwefelsäure leitend gemachtes Wasser enthält, taucht (Fig. 15) eine lange Kapillare C, welche von ihrem unteren offenen Ende an bis zu b hinauf ebenfalls mit der verdünnten Schwefelsäure angefüllt und von ihr benetzt ist, so daß dort in b eine dehnbare kapillare Berührungsfläche zwischen der verdünnten Schwefelsäure und dem von oben her bis

nach b herabreichenden Quecksilber besteht. Ist die Kapillare eng genug und die Quecksilbersäule in derselben nicht zu lang, so wird letztere von der Oberflächenspannung zwischen den beiden Medien (verdünnter Schwefelsäure und Quecksilber) im Ruhezustande getragen und der Meniskus b nimmt eine bestimmte Stellung ein. Läßt man nun den Meniskus b, in welchem die verdünnte Schwefelsäure und der Quecksilberfaden in der Kapillare einander berühren, von einem galvanischem Strome durchfließen (indem

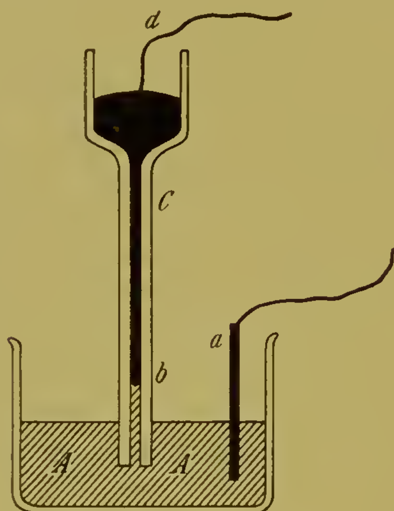


Fig. 15.

man die elektromotorische Kraft einer Stromquelle an das Quecksilber in der Kapillare C von obenher bei d und an eine in das Gefäß A eintauchende Elektrode a anschaltet und so einen Strom auf dem Wege a A b d den Meniskus b durchsetzen läßt), so bemerkt man, wie sich die Oberflächenspannung zwischen verdünnter Schwefelsäure und Quecksilber im Meniskus b durch die angeschaltete elektrische Potentialdifferenz verändert, indem die Einstellung des Menis-

kus b sich nach oben oder nach unten verschiebt, je nachdem das Quecksilber bei b zur Kathode oder zur Anode gemacht ist. Diese von J. W. Ritter zuerst beobachtete kapillarelektrische Erscheinung, die in klassischer Weise später von G. Lippmann, Ostwald, Paschen, Rothmund, Palmaer u. a. untersucht worden ist und einen sehr empfindlichen, von dem Physiologen oft mit Vorteil an Stelle eines Galvanometers benutzten Stromindikator, das „Kapillarelektrometer", liefert, vermag offenbar auch mechanische Arbeit durch die Zuckungen des Quecksilbers infolge der Änderungen seiner Oberflächenspannung gegenüber der benetzenden Flüssigkeit bei Einwirkung des elektrischen Stromes zu liefern. In der Tat hat G. Lippmann zur Demonstration einen kleinen Motor konstruiert[1]), bei welchem die Energie eines elektrischen Stromes nicht wie in den gewöhnlichen Elektromotoren auf elektromagnetischem Wege, sondern direkt mit Hilfe der obigen kapillarelektrischen Erscheinung in mechanische Arbeit umgesetzt wird. Bekanntlich können wir auch durch elektrische Ströme, die wir auf Muskeln und Nerven wirken lassen, Muskelzuckungen hervorrufen und zur mechanischen Arbeitsleistung verwerten.[2]) Es ist dementsprechend von einigen Physiologen auch die Vermutung ausgesprochen worden[3]), daß bei diesen Muskelzuckungen in den organisierten Systemen und auch

---

[1]) Vgl. Ostwald, Elektrochemie, ihre Geschichte und ihre Lehre. Leipzig 1896 S. 1022.

[2]) Umgekehrt kann man auch durch zwangsweise mechanische Verschiebung des Meniskus in b einen elektrischen Strom in einem d und a verbindenden Drahte erhalten, was einer „kapillarelektrischen Dynamomaschine" entsprechen würde.

[3]) J. Bernstein, Pflüger's Archiv 85, 271 (1901), 122, 166 (1908). Naturwiss. Rundschau 16, 413, 429, 441 (1901); M. Verworn, Physiolog. Praktikum f. Mediziner (Jena 1907) S. 140.

beim Galvanotropismus mancher Organismen ebenfalls solche kapillarelektrische Vorgänge eine Rolle spielen, da man an einem Quecksilbertropfen, welcher unter einer Elektrolytlösung einseitig galvanischen Strömen ausgesetzt wird, seit langer Zeit auch „amöboide" galvanotropische Bewegungen künstlich nachahmen kann.[1])

Pulsierende chemische Reaktionen und begleitende elektrische Erscheinungen.

Eine der merkwürdigsten Eigenschaften vieler Vorgänge im Organismus ist ihr rhythmisch pulsierender Verlauf wie z. B. beim Herzschlag, der auch im herausgeschnittenen und von den Nerven isolierten Herzen bekanntlich erhalten wird und zweifellos von chemischen Stoffwechselvorgängen im Muskelgewebe, die vermutlich durch Änderung von Oberflächenspannungen die Zuckungen erzeugen, begleitet ist. Dagegen war für die meisten chemischen Vorgänge im Reagenzglas nicht ein rhythmisch pulsierender, sondern ein nur stetig vor sich gehender zeitlicher Verlauf als üblich bekannt. Man hat nun zwar einige pulsierende chemische Erscheinungen bereits aufgefunden, wie unter gewissen Umständen die Auflösung von Metallen in Säuren nach Fechner's, Schoenbein's und besonders Ostwald's[2]) schönen Untersuchungen. Einen hervorragend charakteristischen und leicht reproduzierbaren Fall (Demonstration) habe ich aber neuerdings in Gemeinschaft mit J. Weinmayr entdeckt. Derselbe ist vom physiologischen Standpunkt vielleicht um so bemerkenswerter, als es sich um eine rhythmisch pulsierende und mit Oberflächenspannungsänderungen verknüpfte „Kata-

---

[1]) Vgl. z. B. J. Loeb, Vorlesungen, l. c. S. 92. B. Danilewsky, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1905 S. 519 u. 1906 413; L. Rhumbler, Ztschr. f. wiss. Zoologie 83, 1 (1905).

[2]) Vgl. W. Ostwald, Zeitschr. f. physikal. Chem. 35, 33 u. 204 (1900).

lyse"[1]) handelt, d. h. um eine jener eigentümlichen Beschleunigungen chemischer Reaktionen durch die Gegenwart eines sich selbst schließlich nicht erheblich verändernden Körpers, des sog. „Katalysators". Bekanntlich faßt man jetzt die Wirkung der Enzyme im Organismus auch nur als eine Beschleunigung der Stoffwechselreaktionen auf, während das Enzym sich selbst dabei nicht in äquivalentem Verhältnis zur Menge der Stoffwechselreaktion verändert und daher eine kleine Menge Enzym oft ohne erhebliche Einbuße seiner Wirksamkeit sehr große vielfache Mengen seiner Substrate verändern kann. So kann man z. B. mit sehr kleinen Mengen Pepsin den Zerfall sehr viel größerer Mengen von Eiweiß enorm beschleunigen, ohne daß das Pepsin dabei an Wirksamkeit erheblich verliert. Ebenso kann man mit sehr geringen Mengen Platin oder Quecksilber den Zerfall einer millionenfachen Menge Wasserstoffsuperoxyd in Wasser und Sauerstoffgas nach der Gleichung $2\,H_2O_2 = 2\,H_2O + O_2$ enorm beschleunigen, ohne daß dabei diese Metalle diese ihre „katalytische" Wirksamkeit einbüßen.[2])

Übergießt man also eine Quecksilberoberfläche mit einer etwa 10proz. Wasserstoffsuperoxydlösung („Perhydrol"), so macht sich die katalytische Wirkung des Quecksilbers an seiner Oberfläche sehr bald dadurch geltend, daß hier ein erheblich beschleunigter Zerfall des (auch ohne Quecksilber, aber nur sehr langsam zerfallenden) Wasserstoffsuperoxyds nach obiger Reaktionsglei-

---

[1]) W. Ostwald, Über Katalyse, Leipzig 1902; G. Bredig, Altes u. Neues v. d. Katalyse, Biochem. Zeitschr. 6, 283 (1907). Das Wort Katalyse ist leider oft in der elektromedizinischen Literatur in sehr verwirrender, mißbräuchlicher und unrichtiger Weise angewandt.

[2]) G. Bredig mit Müller von Berneck und Ikeda „Anorgan. Fermente", Zeitschr. f. physikal. Chem. 31, 258 (1899), 37, 1 (1901); Bredig, „Anorganische Fermente" Leipzig 1901, Biochem. Zeitschr. 6, 283 (1907).

chung unter lebhafter Sauerstoffgasentwicklung eintritt. Unter gewissen Umständen nun tritt dieser Zerfall des Wasserstoffsuperoxyds an der katalysierenden Quecksilberoberfläche mit rhyth-

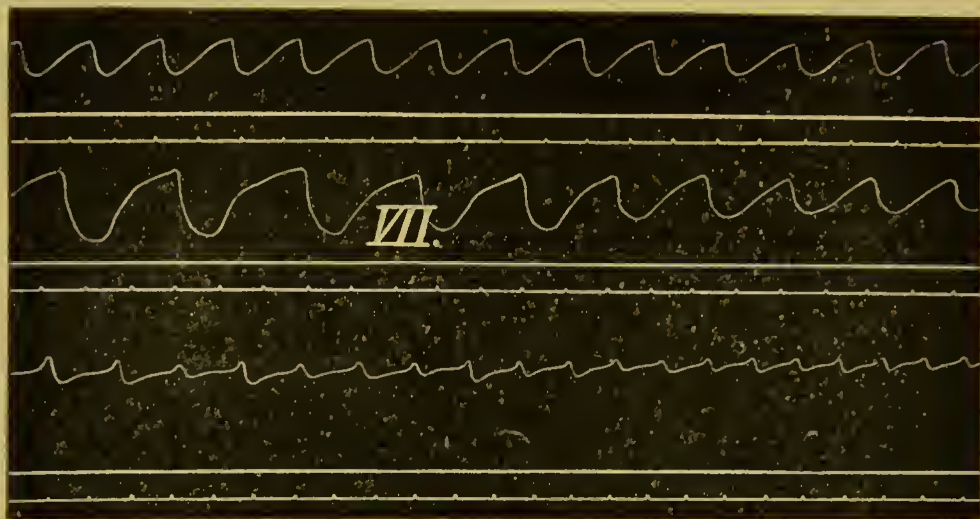


Fig. 16.

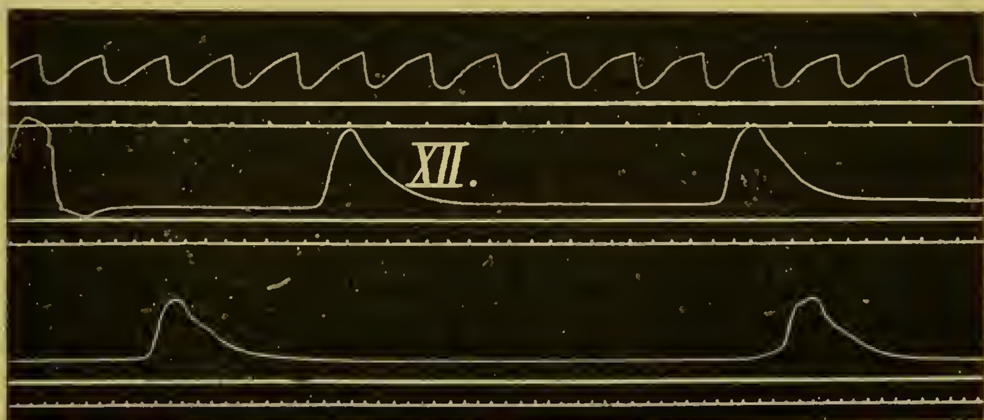


Fig. 17.

misch pulsierender Geschwindigkeit auf, so daß ich in Gemeinschaft mit E. Wilke und A. v. Antropoff[1]) hier oft stundenlang mit

[1]) Vgl. G. Bredig u. J. Weinmayr, Zeitschr. f. physikal. Chem. 42, 601 (1903); G. Bredig u. E. Wilke, Verhandl.

Hilfe von Registrierapparaten sehr regelmäßige „Pulskurven" der chemisch-katalytischen Sauerstoffgasentwicklung erhielt (Abscisse Zeit, Ordinate Geschwindigkeit der obigen katalysierten chemischen Reaktion, Zeitmarke unten 5 Sek.). Diese „chemisch-katalytischen Pulskurven", von denen einige Beispiele hier beigefügt sind, erinnern lebhaft an die Pulskurven physiologischer Erscheinungen, die ja doch auch sehr wahrscheinlich aus pulsierenden chemischen Vorgängen hervorgehen. Geradeso wie die Zuckungen des Herzens und der Muskeln usw. durch Spuren gewisser Zusätze enorm beeinflußt werden [2]) können, ist das auch hier der Fall:

Während die erste Zeile des Diagrammes VII (Fig. 16) den „normalen" sich spontan einstellenden „katalytischen Puls" des Systems (Quecksilber + zerfallendes Wasserstoffsuperoxyd) darstellt, wird dieser Puls durch Zusatz sehr geringer Mengen Natriumnitrat stark deformiert, wie Zeile 2 und 3 zeigen. Diagramm XII (Fig. 17) zeigt wieder den normalen Puls in der ersten Zeile, in der zweiten und dritten dagegen dessen völlig veränderte Form nach Zusatz einiger Tropfen Ammoniumcitrat. Hier ist, wie man sieht, das inaktive Stadium der pulsierenden chemisch-katalytischen Gasentwicklung verlängert, während im Diagramm XV (Fig. 18) durch Zusatz weniger Tropfen Wasserglaslösung das aktive Stadium stark verlängert wurde. Diagramm XVII (Fig. 19) zeigt den Einfluß einiger Tropfen Agar-Agarlösung. Besonders gegen geringe Mengen Säure und Alkali ist die Form der Pulskurve und die Heftigkeit der katalytischen Metallwirkung sehr empfindlich, wofür sich Analoga bei pulsierenden und reiz-

---

d. Naturhist. med. Vereins Heidelberg 8, 165; E. Wilke, Dissertation Heidelberg 1904; A. v. Antropoff, Zeitschr. f. physik. Chem. 62, 513 (1908), Journ. f. prakt. Chem. 77, 273 (1908).

[2]) Vgl. J. Loeb, Vorlesungen S. 120 u. f.



Fig. 19.



Fig. 18.

baren Organen finden.[1]) Ebenso wird der Einfluß der Temperatur auf die chemisch-katalytische Pulsation durch Fig. 20 veranschaulicht. Wie man hier an der katalytischen Pulskurve b sieht, wird mit sinkender Temperatur die Dauer einer Pulsperiode enorm ver-

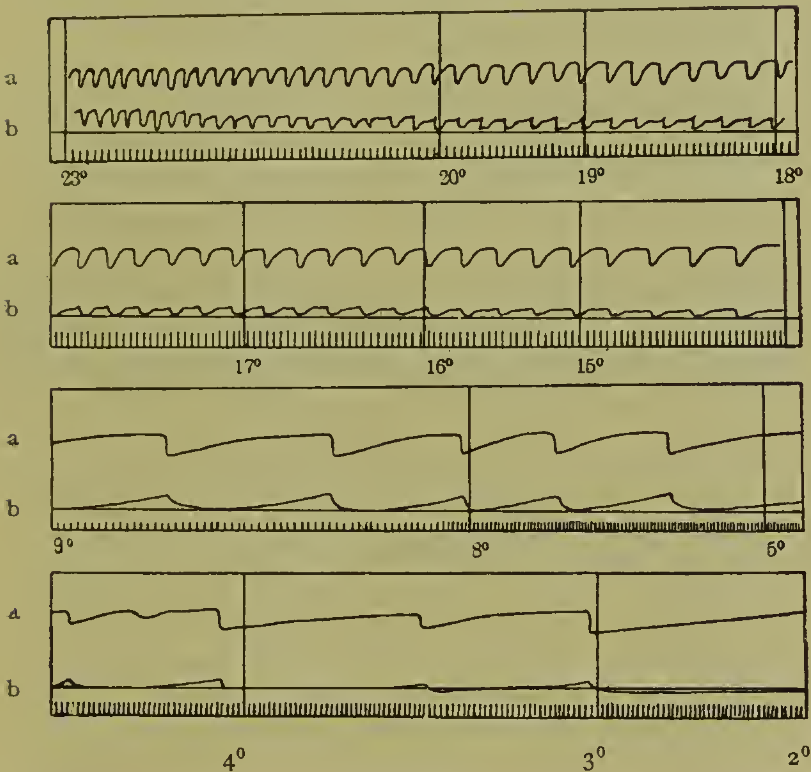


Fig. 20.

längert, eine Erscheinung, welche z. B. ihr völliges physiologisches Analogon in dem Einflusse der Temperatur auf die Dauer der Pulsperiode beim Herzen hat.[2])

[1]) Vgl. z. B. R. Tigerstedt, Lehrb. d. Physiologie I, 65—66 (4. Aufl.); M. v. Frey, Vorlesungen über Physiologie S. 260.

[2]) Vgl. z. B. R. Tigerstedt, l. c. I, 236; J. Loeb, Vorlesung l. c. S. 159.

Elektrochemisch interessant ist besonders die Tatsache (die übrigens Fechner, W. Ostwald und E. Brauer[1]) bereits früher bei anderen pulsierenden, aber nicht katalytischen Reaktionen, Auflösung von Metallen in Säuren, beobachtet hatten), daß gleichzeitig neben den Pulsationen der chemisch-katalytischen Wirkung des Quecksilbers auch koinzidierende Pulsationen der elektromotorischen Kraft des Quecksilbers gegen die wässerige H_2O_2-Lösung auftreten, wie man deutlich an der Galvanometerkurve a erkennt, die hier in Fig. 20 gleichzeitig über die katalytische Pulskurve b vom Registrierapparat geschrieben ist. Gleichzeitig haben wir auch koinzidierende Pulsatioen der Oberflächenspannnung des Quecksilbers feststellen können. Dies erinnert lebhaft an die physiologische Tatsache, daß z. B. auch das pulsierende Herz solche elektrische Pulsationen gleichzeitig mit seinen gewöhnlichen Pulsationen zeigt. Bei unserer anorganischen Katalyse haben wir als Grund der Pulsation die periodische Bildung und den Zerfall einer sehr instabilen Quecksilbersauerstoffverbindung erkannt.[2]) Manche Physiologen nehmen schon lange an, daß auch bei der Pulsation des Herzens durch den Stoffwechsel sehr instabile chemische Produkte periodisch rhythmisch abwechselnd entstehen und verschwinden.[3])

Bekanntlich kann man auch den ruhenden Muskel durch elektrische Ströme zur Zuckung reizen. Auch mir ist es in Gemeinschaft mit Herrn E. Wilke gelungen, unser katalytisches anorganisches System zunächst so einzustellen,

---

[1]) Zeitschr. f. physikal. Chemie 35, 75 (1900), 38, 441 (1901).

[2]) A. v. Antropoff, Zeitschr. f. physikal. Chemie 62, 513 (1908). Daselbst noch zahlreiche andere, interessante chemische und elektrische Pulskurven bei der Katalyse. Derselbe, Journ. f. prakt. Chem. 77, 273 (1908).

[3]) Vgl. Richet, Diction. d. Physiol. 4, 316; Hofmann in Nagel's Handb. d. Physiol. 1 (1), 244; A. Tigerstedt, l. c. I, 65.

daß es spontan keine Pulsation gibt, aber doch (im physikalisch-chemischen Sinne) noch so „reizbar" geblieben ist, daß die Applikation von elektrischen Strömen (u. a. z. B. von Induktionsschlägen) auf das katalysierende Quecksilber als Elektrode wieder Pulsationen des katalytischen Vorganges daran erregt, die wieder abklingen, sobald man die elektrische „Reizung" unterbricht.[1]) Unsere Fig. 21 zeigt einen solchen Einfluß von Wechselstrom auf die Pluserregung, Fig. 22 auf die Pulslähmung. Ferner habe ich neuerdings in Gemeinschaft mit Herrn

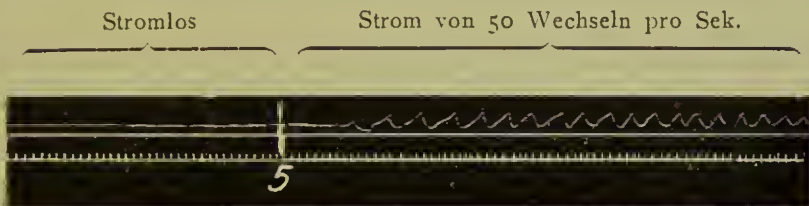


Fig. 21. Erregung der katalytischen Pulsation mit Wechselstrom von 2,5 Milliamp. pro 10 qcm. Unten Zeitmarke je 1 Sekunde.

J. Kerb gefunden, daß auch für diese Katalyse die Reizschwelle der sinusoidalen Wechselstromstärke ähnlich wie bei der erwähnten (Zeitschr. f. ärztl. Fortbildung V, 554, 1908) Theorie und den Versuchen von Nernst u. Reiß u. a. über Nervenreizung proportional mit der Quadratwurzel aus der Polwechselfrequenz steigt. — Auch durch mechanische Erschütterungen läßt sich solch ein anorganisches System zu katalytischer Pulsation „reizen".

Das beiden analogen Erscheinungsgruppen, in Organismen und in unserem anorganischen System, Gemeinsame dürfte in einem Chemismus bzw. Stoffwechsel liegen[2]), der von kata-

[1]) Vgl. Bredig und Wilke, Biochem. Zeitschr. 11 S. 67 1908. Daselbst zahlreiche Diagramme.

[2]) Vgl. J. Verworn, Physiolog. Praktikum, S. 154, 176, 140.

lytischen Einflüssen gesteuert wird, welche ihrerseits wieder einen periodischen Verlauf besitzen und durch chemische Zusätze oder elektrische oder mechanische Einflüsse stark veränderlich sind.

Mit dem letzten Kapitel sind wir aber wohl bereits in Gebiete geraten, wo fast noch alles von zukünftiger Forschung aufzuklären ist und noch festgestellt werden muß, ob diese vorhandenen Ähnlichkeiten nur äußerliche oder ob

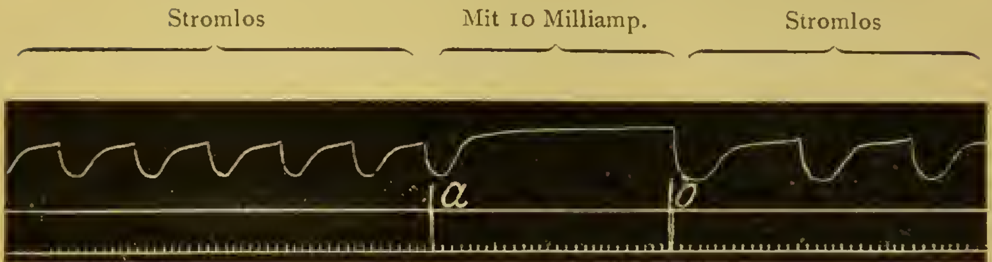


Fig. 22. Behandlung der spontanen katalytischen Pulsation mit Wechselstrom von 48 Wechseln pro Sekunde. Unten Zeitmarke je 1 Sekunde.

sie, wie mir wahrscheinlicher dünkt, im Wesen der Sache begründet sind.

Jedenfalls aber werden Sie, verehrte Anwesende, aus meinem Vortrage doch wohl den Eindruck gewonnen haben, daß die Elektrochemie für den Biologen und Mediziner bisher nicht deshalb so wenig Früchte getragen hat, weil sie dazu unfähig ist, sondern deshalb, weil auf diesem Gebiete gerade für die Beziehungen zwischen biologischen und elektrischen Erscheinungen eine Fülle interessanter Probleme mit den neuen Mitteln der Theorie und des Laboratoriums jetzt noch ihrer Lösung harrt.

Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a. S.





